



Marta Filipa Morais Alves Martinho

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

Avaliação e Gestão de Riscos em Áreas Litorais

**Contributo para o Desenvolvimento de um Sistema
de Previsão e Alerta de Inundação em Zonas
Costeiras**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente,
perfil de Ordenamento do Território e Impactes Ambientais

Orientador: Professor José Carlos Ribeiro Ferreira,
FCT/UNL

Coorientadora: Professora Doutora Conceição Juana
Espinosa Morais Fortes, LNEC

Júri:

Presidente: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho
Arguente: Doutora Maria Teresa Leal Gonçalves Veloso dos Reis
Vogal: Professor José Carlos Ribeiro Ferreira



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

dezembro de 2014

Avaliação e Gestão de Riscos em Áreas Litorais
- Contributo para o desenvolvimento de um Sistema de Previsão e Alerta de Inundação em Zonas Costeiras

Copyright © em nome de Marta Filipa Morais Alves Martinho, da FCT-UNL e da UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao professor José Carlos, por não ter desistido deste trabalho, pelo incentivo e motivação.

À Juana Fortes, pela disponibilidade e paciência.

À Susana Silva, pelo “*keep it simple*” e pelas palhaçadas que ajudaram a descomprimir.

A todos os meus amigos que aturaram as resmunguices e tantas vezes ouviram “não posso, tenho a tese”. Pelas vezes que insistiram e que me fizeram desligar da ficha e pelas vezes em que respeitaram os dias de retiro.

E porque a tese é só o fim de uma etapa, que não se resume de todo a um canudo, agradeço aos que me acompanharam durante estes anos de vida académica. Aos que traçaram a capa, aos que partilharam apontamentos, aos que estudaram em grupo, aos que foram às festas e aos que me deixaram em casa ou me deram a sua casa. Pelas férias, fins de semana e feriados passados juntos, a estudar, a passear ou simplesmente a molengar. Porque todos estes bocadinhos fizeram da universidade uma experiência incrível. À cidade de Lisboa que, com todas as suas imperfeições, foi o palco perfeito que me deixa tantas saudades.

Aos que partiram mas deixaram a sua marca.

Por fim, e mais importante, fica o agradecimento à minha família, o meu porto de abrigo, porque cada um à sua maneira, me apoiou incondicionalmente e me ajudou a trilhar o meu caminho. Porque apesar da sua opinião, respeitam as minhas decisões. Porque estão sempre presentes.

Um obrigado especial à minha Tia Isabel, por ser o meu modelo, e por ter sempre a palavra certa a dizer.

Resumo

Enquadrado no projeto Hidralerta, este trabalho tem como objetivo avaliar o risco de inundação na zona da Costa da Caparica, concelho de Almada, entre 2007 e 2012. As praias em estudo são: São João da Caparica, Praia do Norte, CDS, Traquínio, Dragão Vermelho, Praia Nova e Nova Praia.

O projeto Hidralerta pretende desenvolver um sistema de previsão, alerta e análise de risco a longo prazo associado ao galgamento e inundação em zonas costeiras e portuárias, através da utilização de previsões da agitação marítima.

Pela aplicação do modelo espectral SWAN foram transferidas as características de agitação marítima (altura de onda, período de pico e direção de onda) do largo, fornecidos pelo modelo de previsão WAVEWATCH III, para junto à costa, isto é, para pontos em frente a cada uma das praias.

Para o cálculo do *runup* na praia de São João da Caparica, foram aplicadas as fórmulas empíricas desenvolvidas por Hunt (1959), Holman (1986), Stockdon *et al.* (2006), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero *et al.* (2001), Guza e Thornton (1982), e Teixeira (2009). Esta praia é considerada uma praia natural, com sistema dunar, semelhante aos sistemas utilizados pelos autores para desenvolvimento e aplicação das suas fórmulas.

Para as restantes praias, que possuem estrutura de proteção aderente, foi utilizada a metodologia de Mase *et al.* (2013), que permite calcular o *runup*/galgamento nas praias e estruturas. Os perfis transversais de todas as praias e das estruturas foram levantados no local, no decorrer deste estudo.

Depois de calculado o nível máximo de inundação nas praias e o caudal médio galgado nas estruturas de proteção, procedeu-se à avaliação do risco de inundação. Para isso, cruzou-se a informação de tabelas do grau de probabilidade de ocorrência e do grau de consequência, o que possibilitou a determinação da aceitabilidade do risco.

Como resultado destaca-se que existe um grau indesejável de galgamento e inundação nas praias da Costa da Caparica e que a prevenção de danos em pessoas e bens pode ser melhorada pela aplicação de sistemas de alerta.

Os resultados obtidos devem ser analisados com cuidado uma vez que a metodologia tem limitações, quer ao nível dos dados (agitação marítima, perfis de praia utilizados), das formulações empíricas consideradas, as quais não foram desenvolvidas para as praias em estudo e a avaliação das consequências, em que se utiliza uma metodologia muito simples.

Palavras chave: Risco, *Runup*, Galgamento, Hidralerta, Costa da Caparica, Modelos empíricos, modelos numéricos

Abstract

This thesis aims at evaluating flooding and overtopping risk in the beaches of Costa da Caparica, municipality of Almada, between 2007 e 2012, as part of the Hidralerta project. The beaches in study are: São João da Caparica, Praia do Norte, CDS, Traquínio, Dragão Vermelho, Praia Nova e Nova Praia.

From each beach, a representative point was chosen, and, by the SWAN spectral model, the information of the sea agitation was transferred from the sea to the coast. The WAVEWATCH III model provided the forecast sea agitation.

The cross-sections of the beaches were collected *in situ*, during this study.

The calculation of the runup at São João da Caparica was based upon the empirical formulas developed by Hunt (1959), Holman (1986), Stockdon *et al.* (2006), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero *et al.* (2001), Guza e Thornton (1982), e Teixeira (2009). This is a natural beach with dunes, similar to the systems the authors studied when formalizing the models.

The remaining beaches of Costa da Caparica have a seawall so *runup*/overtopping was calculated using Mase's *et al.* (2013) methodology.

With these methodologies, we obtained the maximum level of flooding in the beach and the average flow overtopped by linear meter in the adherent structure. We calculated the degree of flood risk, obtained by crossing two tables: the occurrence probability and the occurrence consequences. From those results, we defined the acceptability of the risk.

We determined that there is an undesirable degree of *runup* and overtopping in Costa da Caparica beaches and that the application of a warning system can improve damage prevention.

Key-Words: Risk, Runup, Runup/Overtopping, Hidralerta, Costa da Caparica, Empirical models, Numerical models

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1.Enquadramento do trabalho	1
1.2.Objetivos	2
1.3.Metodologia	2
1.4.Estrutura e organização da dissertação	4
2. ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL.....	5
2.1.Modelos para a caracterização da agitação marítima junto à costa.....	5
2.2.Formulações para avaliação do <i>runup</i> (espraio) em praias e das cotas máximas de inundação	7
2.3.Metodologias para o cálculo do galgamento de estruturas.....	9
2.4.Metodologia de avaliação de risco.....	10
3. MODELOS IMPLEMENTADOS	13
3.1.Modelo SWAN.....	13
3.2.Estudo do <i>runup</i> em praias e cálculo do Nível Máximo de Inundação.....	14
3.3.Estudo do <i>runup</i> /galgamento em estruturas.....	23
3.4.Avaliação do risco.....	26
4. CASO DE ESTUDO.....	31
4.1. Caracterização do local.....	31
4.1.1.Enquadramento histórico.....	31
4.1.2.Descrição do local.....	32
4.2.Caracterização da Agitação marítima - Modelo SWAN.....	36
4.2.1. Condições de aplicação do modelo SWAN.....	36
4.2.2. Análise de Resultados.....	37
4.3.Estudo de <i>runup</i> e galgamento.....	41
4.3.1.Condições de aplicação das fórmulas empíricas para o cálculo do <i>runup</i> em praias.....	41
4.3.2.Análise dos dados de <i>runup</i>	43
4.3.3.Condições de aplicação das fórmulas empíricas de <i>runup</i> /galgamento em estruturas	45
4.3.4. Análise dos dados de galgamento.....	46
4.4.Avaliação do Risco de Inundação e Galgamento.....	48
5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
7. ANEXOS.....	57

Índice de Figuras

Figura 1. Localização dos pontos em estudo (ortofotomapa: IGEO, 20014).....	3
Figura 2. Diagrama de funcionamento do SWAN.....	14
Figura 3. Perfil de praia comum (USACE, 2002).....	15
Figura 4. Modelo de erosão induzida pelas ondas na base das arribas (Ruggiero <i>et al.</i> , 2001)....	19
Figura 5. Definições utilizadas no cálculo do espraio (Teixeira, 2009).....	21
Figura 6. Galgamento numa estrutura de proteção longitudinal aderente (Afonso, 2011).....	23
Figura 7. Declive imaginário, considerando o <i>foreshore</i> e a estrutura transversal (Mase <i>et al.</i> , 2013).....	24
Figura 8. Evolução da linha de costa (adaptado de Rocha <i>et al.</i> , 2011).....	31
Figura 9. Enchimento de areia na Costa da Caparica, realizado em Agosto de 2014.....	32
Figura 10. Constituição das estruturas de proteção, com detalhe do núcleo e base da estrutura (04-04-2014).....	33
Figura 11. Coroamento da estrutura de proteção aderente nas praias urbanas (04-04-2014).....	34
Figura 12. Cronograma das ocorrências registadas nas praias da Costa da Caparica, entre 2006 e 2012, e intervenções realizaadas.....	35
Figura 13. Altura significativa de onda ao largo.....	38
Figura 14. Altura significativa de onda ao largo, no ponto P1.....	38
Figura 15. Altura significativa de onda ao largo, no ponto P4.....	39
Figura 16. Período de pico médio, ao largo.....	40
Figura 17. Período de pico médio, no ponto P1.....	40
Figura 18. Período de pico médio, no ponto P4.....	40
Figura 19. Recolha de perfis de praia, ponto nas dunas (Fonte: Susana Silva, 30-04-2014).....	42
Figura 20. Recolha de perfis de praia, ponto na <i>foreshore</i> – campanha de 29 e 30 de Abril, na Costa da Caparica (Fonte: Susana Silva, 30-04-2014).....	42
Figura 21. Esquematização dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> utilizados em FORTRAN para a obtenção do <i>runup</i>	42
Figura 22. Comparação do nível máximo de inundação, segundo as metodologias de Hunt <i>et al.</i> (1959) e Holman (1986).....	43
Figura 23. Comparação do nível máximo de inundação, segundo as metodologias de Stockdon <i>et al.</i> (2006) e Nielsen e Hanslow (1991).....	43
Figura 24. Comparação do nível máximo de inundação, segundo as metodologias de Guza e Thornton (1982) e Ruggiero <i>et al.</i> (2001).....	44
Figura 25. Comparação do nível máximo de inundação, segundo as duas metodologias de Teixeira (2009).....	44
Figura 26. Esquematização dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> utilizados em FORTRAN para a obtenção do galgamento.....	46
Figura 27. Resultados de <i>runup</i> no P4, segundo a metodologia de Mase <i>et al.</i> (2013).....	47
Figura 28. Resultados de caudal médio galgado no P4, segundo a metodologia de Mase <i>et al.</i> (2013).....	48
Figura 29. Valores médios do nível máximo de inundação, em m(ZH), de todos os autores.....	49

Índice de Tabelas

Tabela 1. Identificação dos pontos utilizados, com a designação das praias segundo a APA.....	3
Tabela 2. Principais conceitos do sistema praia (Silva, 2012).....	15
Tabela 3. Fórmulas utilizadas para o cálculo do <i>runup</i> em praias sem estrutura de proteção e respectivos autores	22
Tabela 4. Fórmulas de Mase <i>et al.</i> (2013) para praias com estruturas de proteção costeira construídas em zonas de águas pouco profundas ou com o pé da estrutura essencialmente acima do nível de água.....	25
Tabela 5. Condições de aplicação das fórmulas de Mase <i>et al.</i> (2013).....	26
Tabela 6. Tabela de Probabilidade de Ocorrência (Raposeiro <i>et al.</i> , 2010, Raposeiro e Ferreira, 2011)	27
Tabela 7. Valores do caudal médio de galgamento admissível para estruturas marítimas (Neves, 2013; adaptado de Pullen <i>et al.</i> , 2007)	27
Tabela 8. Valores do caudal médio de galgamento admissível para pessoas (Neves, 2013; adaptado de Pullen <i>et al.</i> , 2007).....	28
Tabela 9. Valores de caudal médio galgado admissível para as diversas alternativas existentes em zonas abrigadas pela estrutura (Neves, 2013; adaptado de Pullen <i>et al.</i> , 2007).....	28
Tabela 10. Tabela de consequências da inundação (Raposeiro e Ferreira, 2011).....	29
Tabela 11. Tabela de risco de inundação costeira (Raposeiro e Ferreira, 2011).....	29
Tabela 12. Avaliação da aceitabilidade do grau de risco (Raposeiro e Ferreira, 2011).....	30
Tabela 13. Estratégias de atuação nos locais em risco (Raposeiro e Ferreira, 2011).....	30
Tabela 14. Características principais das malhas de cálculo do modelo SWAN (Neves, 2013).....	36
Tabela 15. Análise da altura de onda significativa (H_s) em cada ponto.....	39
Tabela 16. Análise do período de pico médio (T_p) em cada ponto.....	41
Tabela 17. Análise da direção de onda, (θ) em cada ponto em cada ponto.....	41
Tabela 18. Valores máximos e médios do nível máximo de inundação, em m, de cada autor...	45
Tabela 19. Probabilidade de ocorrência de galgamentos em P4.....	49
Tabela 20. Risco de galgamento em P4 e sua aceitabilidade.....	50

Simbologia

A_{rea} - Área transversal determinada segundo Mase *et al.* (2013)
 C – constante adimensional
 C_r - Coeficiente de redução de galgamento devido à presença de uma berma de coroamento permeável
 c_x, c_y - Velocidades de propagação da onda no espaço
 c_θ, c_ϕ - Velocidades de propagação da onda no espectro
 D - altura de água desde o fundo até ao nível de água de tempestade
 Dir - direção da onda
 d_s – profundidade da água no pé da estrutura
 E - Energia da onda
 E_J - Elevação da face da praia
 E_T – Elevação da maré
 g - Aceleração da gravidade
 Gc - Largura da berma de coroamento
 H - Altura da onda
 h_b - Profundidade da água na berma da estrutura; profundidade de rebentação
 H_{mo} e $H_{m0,toe}$ - Altura significativa espectral no pé da estrutura
 H_{rms} - Altura de onda média quadrática junto à costa
 H_s - Altura significativa da onda
 H_{0rms} - Altura de onda média quadrática ao largo
 H_0 - Altura da onda ao largo
 L - Comprimento da onda
 L_0 - Comprimento da onda ao largo (em águas profundas)
 L_{RU} - Parâmetro utilizado no cálculo do *runup* segundo Nielsen e Hanslow (1991)
 $L_{z_{wm}}$ - Comprimento de onda correspondente à altura máxima atingida por uma onda individual
 N - Direção espectral da ação da onda
 q - Caudal médio galgado por metro linear da estrutura
 Q_f – caudal final
 R – *Runup*, ou espraio; fator de correlação
 $R_{máx.}$ - *Runup* máximo
 $R_{máx.(37\%,100)}$ - *Runup* máximo, não excedido em 37% dos casos em ensaios com 100 ondas
 $R_{máx.(99\%,100)}$ - *Runup* máximo, não excedido em 99% dos casos em ensaios com 100 ondas
 $R_{médio}$ - *Runup* médio
 R_s - *Runup* significativo (média do terço mais alto dos *runup*'s)
 $R_{1/10}$ - *Runup* correspondente à média do décimo mais alto dos *runup*'s
 $R_{1\%}$ - Valor de *runup* excedido por 1% das ondas incidentes
 $R_{2\%}$ - Valor de *runup* excedido por 2% das ondas incidentes
 Rc - Distância entre o nível médio da água e a cota do coroamento da estrutura
 S - Declive da face da praia
 s - *swash*
 S_{diss} - Representa os fenómenos físicos de dissipação da energia da onda
 S_{in} - Representa os fenómenos físicos de geração da energia da onda
 $S_{máx}$ – nível de maré (maré astronómica mais sobrelevação)
 S_{nl} - Fenómenos físicos de redistribuição da energia da onda
 $Stotal$ - Fenómenos físicos de geração, redistribuição e dissipação da energia da onda
 t - Tempo

T - Período médio
 T_0 - Período médio no ponto
 $T_{m-1,0}$ e $T_{m-1,0,toe}$ - Período médio espectral no pé da estrutura
 $T_{máx}$ - Período de pico máximo
 T_p - Período de pico do espectro
 T_s - Período do terço mais alto das ondas
 z_{wm} - Altura máxima atingida por uma onda individual

α - Ângulo do talude da estrutura
 β - Ângulo do perfil da face da praia; ângulo entre a direção da onda incidente e a normal à estrutura
 $\tan \beta$ - Declive da face da praia
 ξ - Número de Iribarren
 ξ_0 - Número de Iribarren, determinado com condições ao largo
 ξ_s - Número de Iribarren, determinado com condições junto à costa
 γf - Parâmetro indicativo da permeabilidade e rugosidade da estrutura
 θ - Direção da agitação
 σ - Frequência relativa
 $\langle \eta \rangle$ - *setup*

Acrónimos

AHP – Processo de Análise Hierárquica

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

FORTTRAN - *Formula Translating System*

IGEO – Instituto Geográfico Português

IH – Instituto Hidrográfico

INAG – Instituto da Água, I.P.

LMPMAVE - Limite máximo de preia-mar das águas vivas equinociais

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.

M.A. - Maré astronómica

NM - Nível de Maré

NMA - Nível Médio da Água

NMI - Nível Máximo de Inundação

NMM – Nível Médio do Mar

NWS/NOAA/NCEP – *National Weather Service/ National Oceanic and Atmospheric Administration (United States Department of Commerce) /National Centers for Environmental Prediction*

SL- Sobrelevação meteorológica

SWAN – *Simulating Waves Nearshore*

USACE – *United States Army Corps of Engineers*

WWIII – *WaveWatch III*

POOC – Plano de Ordenamento da Orla Costeira

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

Z.H. - Zero hidrográfico

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do trabalho

“O litoral representa uma importante faixa do território português, cuja preservação importa promover, não só devido aos valores naturais e paisagísticos que nele encerra, como também devido ao facto de nele se concentrar três quartos da população portuguesa e de contribuir para 85% do Produto Interno Bruto nacional” (APA, 2012).

A costa portuguesa é, de facto, o local de eleição para viver e passar férias da maioria da população do nosso país. Contudo, o crescimento acelerado que estas áreas sofreram nas últimas décadas, além do desenvolvimento socioeconómico, provocou problemas de ordenamento do território para os quais nem sempre houve uma resposta adequada.

De modo a atuar tanto na prevenção de danos em infraestruturas junto à zona costeira, como na proteção dessa mesma zona, têm vindo a ser realizadas várias intervenções de engenharia como construção de estruturas de proteção aderentes (muros e taludes, molhes, quebra-mares ou esporões), soluções de alimentação artificial de praias e reabilitação de dunas.

Mas essas medidas não resolvem a título definitivo os problemas resultantes da incidência da agitação marítima. Complementarmente à contenção, é fundamental conhecer os fenómenos que ocorrem na praia e no mar, através da sua monitorização e modelação, bem como possuir instrumentos de planeamento e gestão da zona costeira que permitam efetuar uma avaliação dos riscos associados à agitação marítima (em particular ao galgamento de estruturas marítimas) para essas zonas costeiras e portuárias. Tal estratégia permitirá uma melhoria dos sistemas de previsão, alerta, aviso e socorro às populações, e por isso diminuição dos danos materiais e humanos.

No âmbito do projeto HIDRALERTA (Fortes *et al.*, 2013c) tem vindo a ser desenvolvida uma metodologia para a avaliação do risco de ocorrência de galgamentos e inundação de zonas costeiras e portuárias. Tal método utiliza longas séries de dados da agitação marítima medidos *in situ* (por exemplo, com boias ondógrafo) ou fornecidos por modelos de previsão de ondas de escala oceânica para calcular os efeitos da agitação junto à costa (ou em frente a estruturas marítimas), em termos de galgamentos/inundações. Para isso, recorre-se à modelação numérica, ferramentas neuronais e/ou fórmulas empíricas. Uma vez conhecidos os galgamentos e as cotas máximas de inundação, a avaliação do risco passa pela determinação da probabilidade de ocorrência desses eventos acima de determinados limiares predefinidos (consoante as atividades que se desenvolvem na zona em estudo e o tipo de estrutura galgada), assim como pela avaliação das consequências dessas ocorrências.

Esta metodologia já foi aplicada a vários locais da costa portuguesa, entre os quais as praias de Vale do Lobo (Raposeiro *et al.*, 2010; Raposeiro e Ferreira, 2011) e de S. João da Caparica (Neves, 2013; Neves *et al.* 2013; Raposeiro *et al.*, 2013) e os portos da Praia da Vitória, na ilha Terceira (Rocha, 2012), e porto de Ponta Delgada, na ilha de São Miguel (Silva *et al.* 2012).

Na Costa da Caparica é frequente a ocorrência de galgamento das zonas de praia com e sem estruturas de proteção aderentes com consequente da inundação das zonas protegidas, causando danos materiais e colocando em risco a população (Ferreira, 1999; Ferreira, 2006). Por vezes, o normal funcionamento da área é inviabilizado, causando avultados prejuízos, nomeadamente na área da restauração. A reabilitação das estruturas afetadas e o enchimento das praias pode

prolongar-se por meses, coincidindo com a época alta do turismo. Um exemplo deste tipo de situações nas praias da Costa da Caparica, verificou-se neste Inverno de 2014 (por exemplo, durante a tempestade designada por Hércules, ocorrida a 6 de janeiro de 2014), com ocorrência de inundação e destruição significativa de infraestruturas (bares, passadiços, entre outros), sendo que os prejuízos financeiros foram bastante avultados. A avaliação do risco de galgamento/inundação em zonas costeiras é desta forma fundamental para a segurança dos bens, pessoas e infraestruturas bem como para garantir o bom desempenho e planeamento das atividades costeiras.

Um exemplo de aplicação da metodologia de avaliação do risco de galgamento/inundação, atrás referida, à zona da Costa da Caparica, foi realizada por Neves (2013). Esta autora procedeu a uma avaliação preliminar do risco na praia de S. João da Caparica, uma das praias mais a norte na Costa da Caparica, considerando cinco anos de dados de agitação marítima (de 2007 a 2012) medidos na boia-ondógrafo posicionada a oeste do Bugio, na entrada do canal da barra. Tratou-se de uma avaliação com algumas limitações, dado o curto período de tempo de dados que foi considerado (que representa um obstáculo à fiabilidade da avaliação do risco, na medida em que não é um período suficientemente grande para se considerar representativo dos fenómenos que ocorrem no local) e o facto de se ter considerado apenas uma praia.

Sendo assim, considera-se importante estender o anterior trabalho no sentido de se efetuar uma aplicação mais generalizada da metodologia de avaliação do risco ao galgamento/inundação, considerando um maior conjunto de praias na zona da Costa da Caparica.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o risco de galgamento e inundação de sete praias na zona da Costa da Caparica, concelho de Almada, recorrendo à metodologia desenvolvida no âmbito do projeto HIDRALERTA (Fortes *et al.*, 2013c). Este trabalho, no seguimento do trabalho de Neves (2013), utiliza um conjunto de dados de agitação marítima fornecidos por um modelo de previsão da agitação marítima, o modelo WAVEWATCH III (Tolman, 1991) e abrange uma área maior de estudo, desde a praia de São João da Caparica até à praia Nova.

Assim, com base nesses dados de agitação marítima, utilizam-se modelos numéricos de propagação de ondas, que permitem a caracterização da agitação marítima junto às praias, e fórmulas empíricas para o cálculo do espraio (ou *runup*)/galgamento e do nível máximo da cota de inundação. Com base nos resultados, foi determinado o grau de risco de inundação para cada uma das praias em estudo.

1.3. Metodologia

Como referido anteriormente, a metodologia adotada neste trabalho para sete praias da Costa da Caparica foi aplicada por Neves (2013) para a praia de S. João da Caparica, sendo agora estendida para as praias seguintes da Costa da Caparica (Figura 1).

Para a obtenção dos resultados pretendidos, utilizam-se as previsões de agitação provenientes do modelo numérico WAVEWATCH III (WWIII), referentes ao intervalo de tempo de Outubro de 2007 a Dezembro de 2012. Optou-se pela utilização desta informação face aos dados obtidos ao largo na boia-ondógrafo, a oeste do Bugio, na entrada do canal da barra, uma vez que estes

dados medidos apresentam muitas falhas (ao contrário das previsões de WWIII) que provêm maioritariamente de problemas no equipamento decorrentes de períodos de maior ondulação.

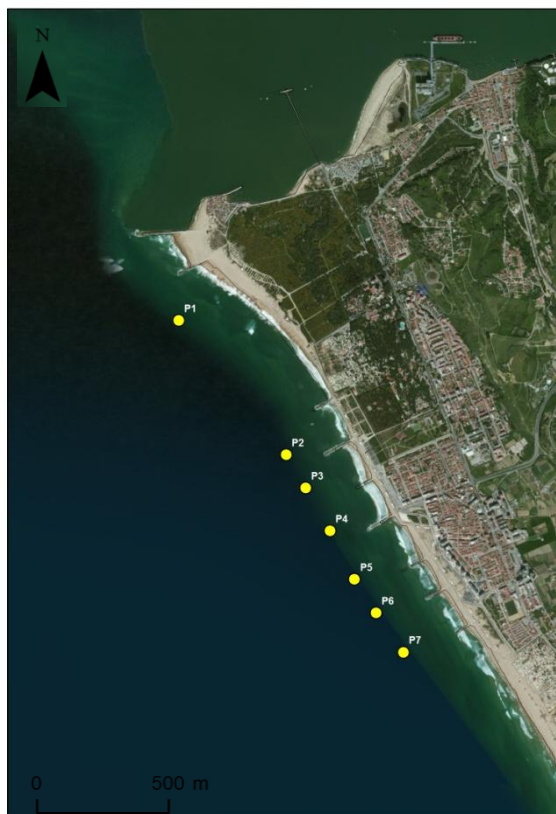


Figura 1. Localização dos pontos em estudo (ortofotomapa: IGEO, 2004)

Através da aplicação do modelo SWAN, os dados de agitação marítima do modelo WWIII foram transferidos para uma série de pontos em frente às praias em estudo, cuja localização está indicada na Figura 1 e na Tabela 1, em coordenadas cartesianas, no sistema de projeção Hayford-Gauss Datum Lisboa IGeoE.

Tabela 1. Identificação dos pontos utilizados, com a designação das praias segundo a APA

Ponto	Praia	Coordenada M (m)	Coordenada P (m)	Batimetria (m ZH)
P1	Praia de São João da Caparica	101931,90	188312,88	8,944
P2	Praia do Norte	102742,49	187295,92	9,040
P3	Santo António (antigo CDS)	102889,87	187044,94	9,040
P4	Praia do CDS (do marcelino)	103072,62	186720,78	9,280
P5	Tarquínio/ Praia do Paraíso	103258,32	186352,16	8,783
P6	Dragão Vermelho	103420,44	186098,57	9,311
P7	Praia Nova	103626,77	185800,54	9,126

O Ponto P1 localiza-se em frente à praia de S. João da Caparica, estando os restantes pontos distribuídos pelas praias adjacentes, no sentido norte-sul, até à Praia Nova. Todas as praias se encontram na freguesia da Costa da Caparica, concelho de Almada.

A aplicação de fórmulas empíricas para a determinação do espraio/galgamento ao longo de vários perfis estabelecidos em frente a cada uma das praias do estudo permite o cálculo das cotas de inundação e do caudal médio galgado na zona protegida, considerando o regime de agitação marítima definido pelo WWIII. A regra foi considerar um perfil por praia.

No caso das praias sem estrutura de proteção aderente, as fórmulas empíricas utilizadas para o cálculo do *runup* e do nível máximo de inundação foram as fórmulas desenvolvidas por Hunt (1959), Holman (1986), Stockdon *et al.* (2006), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero *et al.* (2001), Guza e Thornton (1982) e Teixeira (2009). Da Praia do Norte à Praia Nova, onde o perfil tem estrutura de proteção aderente, foi utilizada a metodologia de Mase *et al.* (2013), que inclui o cálculo do *runup* e do caudal médio galgado por metro linear de estrutura. A aplicação desta metodologia implica que sejam conhecidas as características físicas da estrutura de proteção e da praia.

Por fim, para a avaliação do risco de inundação: 1) determina-se o grau de probabilidade da ocorrência de valores de *runup*/galgamento que excedem limites pré-estabelecidos em cada praia, 2) qualificam-se (através de uma escala, em graus) as consequências da ocorrência de galgamentos/inundações, 3) calcula-se o grau de risco através do produto dos graus atribuídos à probabilidade e às consequências de ocorrência de galgamento/inundação.

1.4. Estrutura e organização da dissertação

A dissertação está dividida em cinco capítulos e quatro anexos:

Capítulo 1 – Introdução: Apresentação da problemática em que se insere o trabalho e qual o seu objetivo, passando pela descrição da metodologia aplicada e da sua estrutura;

Capítulo 2 – Enquadramento Conceptual: Síntese de trabalhos já efetuados com os modelos e metodologia adotados nesta dissertação;

Capítulo 3 – Modelos Implementados: Descrição dos modelos numéricos aplicados, das fórmulas utilizadas para o cálculo do *runup*, nível máximo de inundação e galgamento. Explicação da metodologia de avaliação de risco;

Capítulo 4 – Caso de Estudo: Aplicação das metodologias descritas no capítulo anterior ao caso de estudo das praias da Costa da Caparica. Apresentação do local em estudo e discussão dos resultados obtidos;

Capítulo 5 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros: Apresentação das conclusões alcançadas neste projeto. Resenha sobre os desenvolvimentos futuros que poderão melhorar a metodologia aplicada.

Anexo I – Fichas de praia: Descrição das características de cada praia contemplada no estudo;

Anexo II – Gráficos dos resultados do modelo SWAN – altura de onda significativa (referentes aos pontos P2, P3, P5, P6 e P7), período de pico médio (referentes aos pontos P2, P3, P5, P6 e P7) e direção de onda (ao largo e nos pontos P1 a P7);

Anexo III – Programas *FORTRAN* utilizados para o cálculo do *runup* e galgamento, adaptado de Fortes *et al.* (2013a) e Fortes *et al.* (2013b);

Anexo IV – Gráficos do *runup*/galgamento, segundo Mase *et al.* (2013)

2. ENQUADRAMENTO CONCEPTUAL

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura que permite identificar os autores, metodologias e modelos a que se recorreu neste trabalho. Ao longo do mesmo, serão descritas as condições em que os autores desenvolveram as formulações e os modelos, que permite enquadrar conceptualmente a presente dissertação.

2.1. Modelos para a caracterização da agitação marítima junto à costa

Os modelos numéricos são um importante recurso na caracterização da agitação marítima costeira, pois, em comparação com a monitorização *in situ*, são menos onerosos e podem ser utilizados de forma contínua.

A monitorização é maioritariamente feita de forma pontual, no espaço e no tempo, e além de em muitos casos existirem poucos dados disponíveis, os que existem são relativamente recentes ou com falhas inerentes ao funcionamento dos equipamentos, dificultando a sua utilização em estudos que exigem precisão. Também o custo dos equipamentos e a sua manutenção, de modo a possibilitar a monitorização constante, tornam dispendiosa a colheita de dados no local.

Para a obtenção de séries de dados adaptadas às necessidades de cada estudo, com a caracterização dos processos de geração e transformação da agitação marítima com considerável precisão e menor custo, recorre-se a modelos numéricos que partem de um conjunto de dados monitorizados e os transpõem para o produto pretendido. Neste contexto, os modelos de geração e propagação de ondas têm sido vastamente utilizados para a caracterização da agitação marítima, através da propagação das condições de agitação ao largo para junto da costa (Ângelo, 2012).

O modelo WAVEWATCH IIITM - WWIII (Tolman 1997, 1999a, 2009), desenvolvido no *Marine Modeling and Analysis Branch* do *Environmental Modeling Center* do *National Centers for the Environmental Prediction*, é um modelo de terceira geração e baseia-se nos modelos I e II do WAVEWATCH, desenvolvidos na *Delft University of Technology* e na *NASA Goddard Space Flight Center*, respetivamente. Distingue-se dos modelos de segunda geração por possibilitar que os comprimentos de onda se propaguem em várias direções, aumentando ou decaindo consoante o comportamento do vento e o decorrer do tempo, à medida que ocorrem interações onda-onda (Stewart, 1980). Este modelo global permite prever a agitação marítima em todo o mundo, na costa ou ao largo, sendo que representa melhor fenómenos de maiores profundidades. Baseia-se na parametrização dos termos de fonte e dissipação de energia, direções de onda e campo de ventos (Faria, 2009).

O modelo utilizado nesta dissertação para efetuar a propagação de ondas desde o largo (ponto onde são obtidos os resultados do modelo WWIII) até junto às praias, designa-se por SWAN, *Simulating Waves Nearshore*, e foi desenvolvido na *Delft University of Technology*. Trata-se de um modelo numérico de agitação marítima, de terceira geração, em que, com base na equação de balanço da ação de onda, é possível modelar as ondas do mar, no que concerne à sua geração e propagação e à dissipação da energia (Booji *et al.*, 1999).

O WWIII e o SWAN foram utilizados em simultâneo por vários autores, onde o primeiro prevê a agitação ao largo e o segundo transpõe esses valores para mais perto da costa. Por exemplo, Ângelo (2012) aplicou o modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona

adjacente ao estuário de Diogo Lopes, Brasil, utilizando resultados do modelo WWIII. A metodologia foi aplicada em dois períodos (11 a 12 e 20 a 28 de dezembro de 2010), e foi testada a influência da variação da formulação de *whitecapping* e do coeficiente de atrito de fundo, através da realização de várias simulações, em regime estacionário e não estacionário. Os valores dos parâmetros de agitação ao largo (Hs, Tp, Dir) do modelo WWIII e outras variáveis, como o campo de ventos e os níveis de maré, introduzidas no modelo SWAN, provieram de estações meteorológicas e maregráficas. Os valores do nível de maré foram obtidos por interpolação a partir das medições de preia-mar e baixa-mar, obtendo-se valores horários. Quanto aos resultados obtidos, apesar dos valores de período médio se apresentarem subestimados - o que pode ser explicado por não se ter considerado o campo de correntes - o autor concluiu que na sua maioria as simulações apresentaram uma boa concordância com as observações reais, tanto no que concerne à altura significativa da onda como ao período médio, concluindo que o SWAN é um método eficaz para a modelação da agitação marítima.

Matos *et al.* (2013) estendeu o trabalho anterior por um período de tempo maior (11 a 28 de dezembro de 2010 e 15 a 22 de fevereiro de 2011) e utilizou também os dados do WWIII como condições ao largo para o modelo SWAN. O seu objetivo foi avaliar o desempenho do modelo SWAN na costa norte do Rio Grande do Norte, entre os municípios de Macau e Guamaré, Brasil, comparando as medições *in situ* com os dados provenientes do SWAN. O autor concluiu que o SWAN reproduziu bem as ordens de grandeza e o andamento geral das alturas significativas e períodos de onda no intervalo de tempo estudado, sendo que os melhores resultados foram obtidos no ponto mais ao largo. Para as direções de onda os resultados não foram tão bem sucedidos, havendo maior disparidade com as medições, que apresentaram uma gama de valores consideravelmente mais vasta, sendo este último recomendado pelo autor.

Em Portugal, Raposeiro *et al.* (2013) e Raposeiro e Ferreira (2011), efetuaram a aplicação e validação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na Praia de Vale do Lobo, Algarve, no período de 6 a 12 de março de 2012 (1º caso) - quando foram também realizadas medições *in situ* - e no período de 1998 a 2007 (2º caso), para possibilitar a caracterização do regime observado e regime médio do local. No primeiro caso os autores concluíram que o SWAN conseguiu reproduzir bem o andamento geral e a ordem de grandeza da altura de onda significativa. No entanto, para o período e direção de onda, verificaram-se disparidades comparando com os valores medidos, o que foi atribuído ao facto de não ter sido considerada a interação do vento na modelação.

Neves (2013), na aplicação da metodologia de avaliação do risco de galgamento/inundação em estruturas longitudinais na praia de São João da Caparica, utilizou o modelo WWIII, para prever a agitação marítima ao largo. Utilizando o modelo SWAN e os resultados do modelo WWIII, procedeu à sua propagação até ao local da boia-ondógrafo a oeste do Bugio, de modo a efetuar uma comparação entre os resultados numéricos e os dados medidos na boia. Esta confrontação de informações teve o propósito de validar os dados do WWIII, de modo a possibilitar a sua utilização no modelo SWAN e daí calcular a agitação marítima na praia de São João da Caparica, na Costa da Caparica. A autora concluiu que não existiam diferenças significativas nos dois conjuntos de resultados (modelo e boia-ondógrafo), havendo uma boa concordância em termos de andamento e magnitude entre resultados numéricos e medidos.

2.2. Formulações para avaliação do *runup* (espraio) em praias e das cotas máximas de inundação

Depois da utilização das previsões efetuadas pelo WWIII e da transposição desses dados ao largo para a costa, através do SWAN, para calcular o *runup* e a cota máxima de inundação existem várias formulações empíricas desenvolvidas por diferentes autores baseadas em ensaios com modelos laboratoriais ou medições *in situ*.

Hunt (1959), discutiu a configuração dos pontões e quebra-mares, e qual a sua influência na reflexão e dissipação da energia das ondas. Esta questão surge devido ao avultado investimento necessário para a construção de estruturas de proteção costeiras, que não permite que haja sobredimensionamento. Este estudo foi despoletado pelas graves cheias que ocorreram em Inglaterra e na Holanda em 1953, que levaram ao rompimento de diques. Os ensaios foram realizados com recurso a modelos físicos reduzidos em laboratório, sendo geradas ondas regulares. Além das características das ondas, os fenómenos físicos considerados para esta formulação foram a dissipação da energia, a reflexão e o *runup*. Nas estruturas foi enfatizado o declive, a rugosidade e a forma da berma. A análise dos resultados deste estudo conclui que existem limitações na utilização de modelos físicos, uma vez que podem ocorrer efeitos de escala, e que as ondas geradas mecanicamente não correspondem ao que é verificado no oceano. Os autores também aferiram que a reflexão das ondas deve ser mantida num mínimo, o que depende do declive da estrutura, do aumento da rugosidade e da existência de bermas.

O estudo de valores extremos do espraio em praias naturais efetuado por Holman (1986) contemplou 149 séries de dados em intervalos de 35 minutos numa praia natural, incluindo uma tempestade, com período de retorno entre 2 a 5 anos. Os dados de agitação provieram de uma boia ao largo, fundeada a 20 m de profundidade. A fórmula proposta para determinar o *runup* inclui o cálculo do número de Iribarren e foram utilizados os coeficientes de regressão calculados através dos dados recolhidos no terreno, e relacionando $R_{2\%}$ com ξ_0 .

O objetivo de Nielsen e Hanslow (1991) foi avaliar e comparar a distribuição do *runup* nas praias, podendo a sua morfologia variar do tipo refletivo ao dissipativo. Estes autores sublinham a importância de considerar o número de Iribarren para o *runup* e o facto de terem estudado várias praias com diferentes características para formular as suas equações (baseadas também no trabalho efetuado por Hunt, 1959). Os dados utilizados referem-se a seis praias em New South Wales, Austrália, que representam diferentes morfologias das praias naturais, desde as mais íngremes e por isso altamente refletivas, às dissipativas de baixo gradiente, i.e., planas. Para as praias refletivas foi estabelecida uma relação de proporcionalidade entre o L_{RU} e o declive. Para as praias mais dissipativas, o declive não têm tanta influência, sendo a relação de proporcionalidade estabelecida com H_{0rms} (altura de onda média quadrática ao largo) e L_0 (comprimento de onda ao largo).

Stockdon *et al.* (2006) desenvolveu um conjunto de equações, através de uma parametrização simples, com base na fórmula de Holman (1986) para calcular o *runup* máximo em praias naturais. Para tal, a análise baseou-se em dados experimentais de 10 praias com características morfológicas e de ondulação distintas e o *runup* foi analisado através de dois processos: *setup* e *swash*, sendo o primeiro calculado com recurso à fórmula dimensional do número de Iribarren e o segundo com recurso a bandas de frequência infragravíticas. Os autores concluíram que para um dado H_0 e T_0 , os valores de *setup* numa praia dissipativa serão menores do que numa praia refletiva ou intermédia. Relativamente ao *runup*, os valores calculados foram comparados com medições em campo, detetando-se uma subestimação dos picos.

As fórmulas desenvolvidas por Teixeira (2009) para calcular o *runup* foram parte da sua estratégia para demarcar o leito e margem das águas do mar no litoral sul do Algarve, através da determinação do limite máximo de preia-mar das águas vivas equinociais (LMPMAVE). Os dados utilizados resultam de uma série de medições e observações efetuadas ao longo de 13 anos no litoral sul algarvio, e baseiam-se em informação cartográfica à escala 1/2000 ou superior, sendo o espelho da atual morfologia destas praias. As equações são empíricas e traduzem a correlação dos dados medidos no terreno, nomeadamente através de uma relação linear entre a altura de onda e a altura do espraio. Neste estudo, as equações do *runup* são referentes ao *runup* máximo, que identifica o espraio máximo na praia. Este parâmetro foi calculado no local através da diferença entre a cota da linha de maré medida e o plano da preia-mar publicado nas tabelas de maré do Instituto Hidrográfico (IH). Foram também utilizados parâmetros escalares de ondulação e declive - $R=c(H, L, \beta)$ - provenientes da boia-ondógrafo localizada ao largo de Faro.

O modelo criado por Ruggiero *et al.* (2001), avalia a suscetibilidade das áreas costeiras à erosão provocada pela agitação marítima. Este sistema analisa a probabilidade de ocorrência de níveis de maré extremos, induzidos por processos oceanográficos e atmosféricos ou *runup* extremo devido a tempestades. A metodologia foi aplicada na zona costeira de Oregon, EUA. As medições de *runup* nas praias dissipativas típicas desta zona dependem da altura de onda significativa de águas profundas e, no caso de praias reflexivas, depende também do período de onda e do declive da praia. Os valores de altura de água previstos foram comparados com as alturas de água medidas entre a face da praia e a base das dunas e arribas. A aplicação prática foi levada a cabo em várias praias e foram efetuados ensaios em modelo físico reduzido em laboratório, no *Field Research Facility*, para que o *runup* pudesse ser relacionado com a morfologia da praia e as condições das ondas ao largo, permitindo, segundo os autores, que a metodologia possa ser utilizada noutras localizações.

Guza e Thornton (1982) utilizaram dados medidos em praias dissipativas na Califórnia para obter uma relação linear entre o *runup* significativo e a altura de onda significativa. Contudo os valores obtidos apresentaram menor precisão, muitas vezes sobrestimando os valores quando comparados com outros autores como Stockdon *et al.* (Matias *et al.*, 2012).

Em 2011, Raposeiro *et al.* (2011) aplicaram as fórmulas de Mase (1989), Nielsen e Hanslow (1991) e Teixeira (2009) para calcular o *runup* na praia de Vale do Lobo, em Loulé. Os resultados de Mase (1989), obtidos em testes de modelo físico, mostraram-se bastante afastados dos resultados dos outros autores. No estudo de Raposeiro *et al.* (2011), as cotas máximas de inundação foram calculadas pela soma da sobrelevação meteorológica (calculada pela diferença entre o nível de maré medido e o nível da maré astronómica) ao valor do *runup*. Mais tarde, Raposeiro *et al.* (2013) aplicaram os princípios da metodologia anterior à praia de S. João da Caparica, no intervalo de tempo entre 2006 e 2012, mas recorrendo ao trabalho de outros autores [entre eles Hunt (1959), Holman (1986), Nielsen e Hanslow (1991), Raubenheimer e Guza (1996) e Stockdon *et al.* (2006)]. Os autores consideraram que diferentes formulações levaram a resultados semelhantes em termos de *runup*, sendo excluídos os extremos, para efeitos de cálculo de valor médio [Raubenheimer e Guza (1996) – valor mais elevado; e Nielsen e Hanslow (1991) – valor mais baixo].

Neves (2013) seguiu a metodologia utilizada por Raposeiro *et al.* (2013) mas utilizando as equações de todos os autores acima nomeados, concluindo que apenas Stockdon *et al.* (2006) apresentava valores não coincidentes com os restantes, não sendo por isso utilizado para o

cálculo do valor de *runup* médio obtido para a praia de São João da Caparica nem, por conseguinte, para o cálculo do risco de inundação da praia.

2.3. Metodologias para o cálculo do galgamento de estruturas

Quando se estuda o *runup* em praias, são diferenciadas as praias com e sem estruturas de proteção instaladas. Estas construções alteram a morfologia e dinâmica das praias, conferindo-lhes características distintas, que interferem com vários fenómenos, entre eles o *runup*. Assim, nos casos em que existem estruturas de defesa opta-se por estudar o galgamento destas, uma vez que será este fenómeno o mais suscetível de causar danos em estruturas, pessoas e bens.

Os fenómenos de galgamento podem ser avaliados por diversas metodologias, nomeadamente recorrendo a modelos numéricos, modelos físicos, a fórmulas empíricas ou a modelos neuronais.

Afonso (2011) simulou o galgamento de várias estruturas de proteção costeira com recurso ao programa *SPHysics* (Gómez-Gesteira *et al.*, 2012) que se baseia no método das partículas, e comparou-o a um modelo físico desenvolvido no LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil). O objetivo foi determinar a aplicabilidade do método numérico na otimização do modelo físico e desenvolver um cenário ótimo a nível económico e funcional.

O autor ressaltou a importância dos modelos numéricos pois são estes, com a sua elevada capacidade de processamento e armazenamento de informação, que permitem o estudo de fenómenos reais complexos, apresentando resultados de forma mais rápida e económica em comparação com modelos físicos. Contudo, os modelos físicos apresentam um menor número de erros nos resultados obtidos, sendo utilizados quando o conhecimento teórico dos problemas a estudar não está tão aprofundado, como é o caso do estudo da interação onda-estrutura. Torna-se então necessário o modelo físico como forma de validação do modelo numérico. O modelo físico deste estudo baseou-se num protótipo, reduzido à escala 1:20, de secção transversal definida por um talude de praia com uma estrutura de proteção costeira impermeável, e os ensaios foram realizados num canal de ondas irregulares.

Os resultados do estudo permitiram concluir que o modelo numérico utilizado apresenta semelhanças com as séries temporais do modelo físico, embora com algumas diferenças no perfil das ondas. O cálculo do caudal médio foi satisfatório, permitindo concluir que o programa tem sensibilidade e capacidade suficiente para modelar fenómenos complexos como a rebentação e o espraio, a interação entre a onda incidente e refletida e o galgamento. Como desvantagens foram referidas as dificuldades em determinar as condições de fronteira do problema e a baixa velocidade de cálculo quando comparado o processo com alguns métodos de malha fixa. O autor destaca a necessidade de efetuar testes de sensibilidade no futuro para melhor identificar a influência dos parâmetros do modelo numérico nos resultados obtidos.

Mase *et al.* (2013) formularam um conjunto de equações para o cálculo do galgamento de estruturas de proteção costeira construídas em zonas de águas pouco profundas ou com o pé da estrutura ligeiramente acima do nível de água. Estas equações têm por base dados experimentais, recolhidos em trabalhos anteriores (Mase *et al.*, 2004) e também reunidos à data da formulação. Os modelos físicos reduzidos em laboratório apresentam características distintas,

nomeadamente declive de fundo, declive da praia e escala do modelo. Para o cálculo do *runup* e galgamento foi utilizada uma revisão do declive imaginário (Saville, 1958) – representado na Figura 7 - por forma a minimizar o facto de as estruturas de proteção não terem um declive uniforme. Conclui-se que existe um bom desempenho das fórmulas de *runup*/galgamento, quando comparados os resultados obtidos com dados medidos.

2.4. Metodologia de avaliação de risco

Considerando que o risco de inundação depende não só da vulnerabilidade da zona, mas também da utilização que lhe é dada, a definição de risco pode ser descrita como a probabilidade de ocorrência de um determinado evento adverso multiplicado pelas suas consequências. Ou seja, áreas de elevada vulnerabilidade (com elevado grau de consequências) à inundação podem ter baixo risco de inundação se a probabilidade de ocorrência for baixa, assim como áreas de baixa vulnerabilidade podem ter elevado risco caso exista uma probabilidade de ocorrência de inundação elevada (Ferreira, 1999; Ferreira e Laranjeira, 2000; Ferreira, 2006; Varnes, 1984; Raposeiro e Ferreira, 2011).

A avaliação do risco é baseada na combinação entre os valores de probabilidade de ocorrência de valores de galgamento/inundação para a estrutura/área em estudo e os valores atribuídos às consequências dessa ocorrência perigosa. Para simplificar, determina-se o grau de risco e considera-se uma escala de grau de probabilidade, associada à probabilidade de uma ocorrência de galgamento/inundação acima de um certo limiar pré-estabelecido, e uma escala de grau de consequências associadas aos prejuízos desse acontecimento.

Para a avaliação do risco de galgamento/inundação numa dada zona costeira, é utilizado o seguinte procedimento (Raposeiro *et al.*, 2010; Raposeira e Ferreira, 2011):

- Avaliação da natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada por cada secção das estruturas analisadas e do impacto do galgamento/inundação na segurança de pessoas e infraestruturas;
- Divisão da área de estudo em sub-áreas com características semelhantes relativamente ao tipo de defesa costeira;
- Determinação da probabilidade de excedência de limites pré-definidos de níveis de galgamento/inundação para cada área de estudo;
- Estabelecimento de fatores qualitativos relacionados com as consequências da excedência dos limiares definidos;
- Combinação dos passos anteriores para a avaliação do risco de inundação;
- Identificação das áreas de risco;
- Propostas de adaptação ao risco.

Raposeiro *et al.* (2010) e Raposeiro e Ferreira (2011) aplicaram este método na avaliação de áreas com risco de inundação em Vale do Lobo, Loulé. Utilizaram o regime de ondulação registado ao longo de 9 anos pela boia-ondógrafo ao largo de Faro, e através do *software* SWAN e GUIOMAR (Neves *et al.*, 2009) a ondulação foi propagada para a área em estudo. Com base em equações empíricas de Mase (1989), Nielsen e Hanslow (1991) e Teixeira (2009) foi calculado o *runup* e o nível máximo de inundação. O risco foi calculado através do cruzamento das tabelas de probabilidade de excedência e de consequências de excedência. Por fim foram propostas estratégias de adaptação a locais de risco e criados mapas de risco. Os

autores concluíram que a metodologia pode ser facilmente aplicada noutros locais uma vez que a avaliação do risco pode ser realizada de forma rápida e eficaz, com a aplicação das tabelas.

Rocha (2012) aplicou a mesma metodologia na baía da Praia da Vitória, na ilha Terceira, Açores, onde foi avaliado o risco de galgamento das estruturas de proteção do local. Para tal: a) foi efetuada uma avaliação da natureza das atividades desenvolvidas na área de estudo e do impacto do galgamento na segurança das estruturas, das pessoas e das infraestruturas; b) definiram-se os caudais críticos admissíveis para cada estrutura e atividade; c) avaliou-se o grau de probabilidade de ocorrência desses caudais; d) determinou-se o grau de risco. Os autores concluíram que para as três estruturas analisadas, o risco associado ao caudal médio galgado para as duas estruturas da baía é menor ou igual ao obtido com um nível de maré fixo. Contudo é de ressaltar que o estudo realizado pelo LNEC está do lado da segurança, prevendo um grau de risco mais elevado do que o mesmo estudo com a variação do nível de maré. Tal pode provocar um grau de risco associado ao galgamento elevado e levar ao aconselhamento de implementação de medidas de controlo de risco, que na realidade podem ser dispensáveis. O trabalho de Rocha (2012) teve como base o trabalho desenvolvido por Neves *et al.* (2012), que desenvolveu um sistema de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas, no porto e baía da Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores. Esta metodologia foi considerada simples e eficaz, podendo ser utilizada na avaliação de outros tipos de risco (inundação, navegação, etc.). Contudo foi salientado que depende significativamente da quantidade e qualidade dos dados de agitação marítima existentes, bem como da correta avaliação das consequências.

Neves *et al.* (2013) aplicaram a metodologia à Praia de São João da Caparica, na Costa da Caparica, em Almada, para avaliar o risco de inundação e galgamento das estruturas de proteção costeira em dois perfis de praia distintos, um com estrutura de proteção aderente e outro sem. Os autores classificaram o risco como indesejável na zona de praia sem estrutura de proteção aderente e como reduzido na zona com estrutura aderente. Contudo indicaram reservas quanto aos resultados alcançados, pois o período temporal de análise foi reduzido (5 anos), a série de dados apresentava várias falhas de medição, os perfis de praia não representavam a variabilidade sazonal do local e a avaliação do risco não contemplou todas as variáveis necessárias a um estudo mais aprofundado, nomeadamente a nível ambiental, económico e social.

Recentemente têm vindo a ser utilizados métodos mais precisos na quantificação das consequências. Na avaliação das consequências de ocorrência de galgamentos, Antunes (2012) desenvolveu uma metodologia mais aprofundada, quantitativa e detalhada, baseada numa análise multicritério que permite analisar, classificar e atribuir pesos a diferentes indicadores espaciais que caracterizam uma dada zona de estudo. Esta metodologia para elaboração do mapa de consequências consiste na construção de um índice espacial de pressão antrópica no litoral através da aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP).

3. MODELOS IMPLEMENTADOS

3.1. Modelo SWAN

O modelo utilizado no presente projeto é o SWAN, acrónimo de *Simulating Waves Nearshore* (Booij *et al.*, 1999). Este modelo visa fornecer os parâmetros característicos da agitação marítima através do espectro direcional estimado em locais de interesse junto ao litoral.

O SWAN é um modelo numérico espectral em média fase de terceira geração *open source* de propagação da agitação marítima, que se baseia na equação de conservação da ação da onda. Através do mesmo torna-se possível a geração de ondas de gravidade na superfície do mar através da ação do vento, efetuando-se posteriormente a sua propagação tendo em conta variados fenómenos intervenientes na mesma, como rebentação e interação não linear entre ondas. Este modelo é adequado para zonas costeiras desde águas profundas até águas pouco profundas. Os modelos de propagação das ondas de vento em zonas costeiras nascem da necessidade de complementar os modelos de águas profundas, como o modelo WWIII (Tolman, 2002), já que estes não contemplam os fenómenos físicos presentes em águas de profundidade finita, tais como o atrito do fundo, empolamento, rebentação induzida pelo fundo, reflexão.

O SWAN baseia-se na equação de balanço espectral da densidade de ação. Esta pode ser formulada em coordenadas esféricas, para computações de grande escala, ou coordenadas cartesianas, para aplicações de menor escala. No presente caso usou-se a equação em coordenadas cartesianas.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta \theta}{\partial \theta} = \frac{S_{\text{total}}}{\sigma} \quad (1)$$

onde N é a densidade espectral da ação da onda, em função da frequência relativa σ , e da direção θ : $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta)/\sigma$; c_x e c_y correspondem às velocidades de propagação no espaço e c_σ e c_θ às velocidades de propagação no espetro.

Deste modo, o primeiro termo da equação (1), lendo-se da esquerda para a direita, entende-se como a taxa de variação local da densidade de ação no tempo, os dois termos seguintes correspondem à propagação no espaço geográfico, segue-se o termo representativo da refração induzida pelo fundo e correntes e por fim, a variação da frequência relativa devido às variações do fundo e das correntes (Neves, 2013). Do lado direito da equação (1) está representado o crescimento da onda pelo vento, pelas trocas de energia devidas a interações não-lineares entre ondas e pela dissipação por processos de rebentação e/ou atrito de fundo, i.e., as fontes e sumidouros. Assim, S_{total} pode também ser descrito por:

$$S_{\text{total}} = S_{\text{in}} + S_{\text{nl}} + S_{\text{diss}} \quad (2)$$

onde S_{in} é a energia gerada pelo vento, S_{nl} as interações não-lineares e S_{diss} a dissipação da energia da onda (Neves, 2013).

Tal como apresentado na Figura 2, para executar o SWAN são necessários vários *inputs* que dependem do local de estudo: a batimetria do local, uma grelha computacional, as coordenadas

dos pontos para os quais se pretende obter resultados e os dados de agitação ao largo. À semelhança de trabalhos realizados por Neves (2013) e Reis *et al.* (2013), para a melhoria dos resultados são utilizadas malhas com diferente resolução, sendo que as malhas exteriores (de menor resolução), fornecem as condições fronteira para as malhas de maior resolução. Tal permite também um menor tempo de cálculo em comparação com a utilização de uma malha de maior resolução para todo o domínio (Reis *et al.*, 2013).

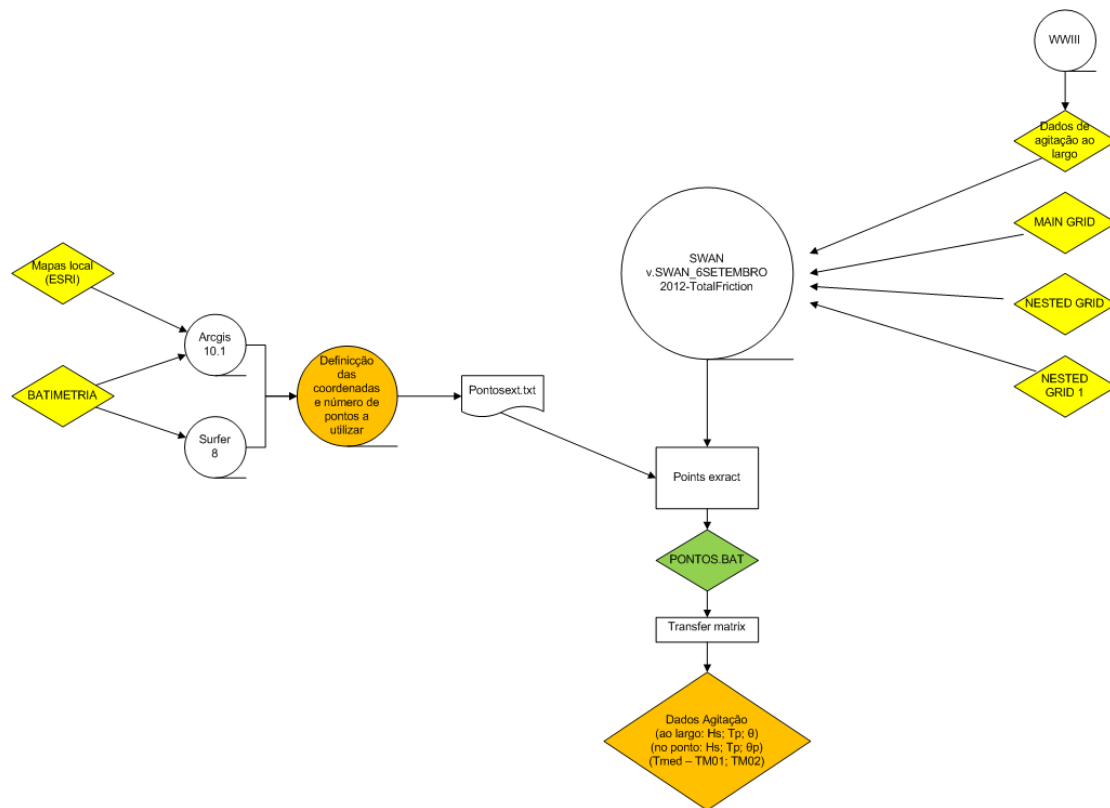


Figura 2. Diagrama de funcionamento do SWAN

Outras variáveis, como o campo de ventos e a corrente, podem ser utilizadas para melhorar os resultados. Neste estudo, as mesmas não foram consideradas devido à falta de informação disponível.

São vários os parâmetros resultantes do modelo: altura de onda (H_s); período de pico da onda (T_p); direção de propagação (θ); período médio (T_{med}); direção média de onda (θ_{med}). Destes, H_s , T_s e θ são os mais relevantes e utilizados no próximo passo desta metodologia.

3.2. Estudo do *runup* em praias e cálculo do Nível Máximo de Inundação

Para compreender o fenómeno do *runup*, é essencial conhecer as principais características das zonas costeiras e os fenómenos que nelas ocorrem. No entanto, o facto da costa ser bastante dinâmica (Silva, 2012) dificulta o estabelecimento de limites bem definidos para as diferentes zonas que constituem o sistema praia e, por conseguinte, a sua caracterização. As alterações morfológicas incluem escala e posição relativa, variando no tempo e podendo ser tão efémeras quanto a duração de uma maré. Esta ação hidrodinâmica prende-se com a ação das correntes, do vento e das marés (Silva, 2012; Schwartz, 2005).

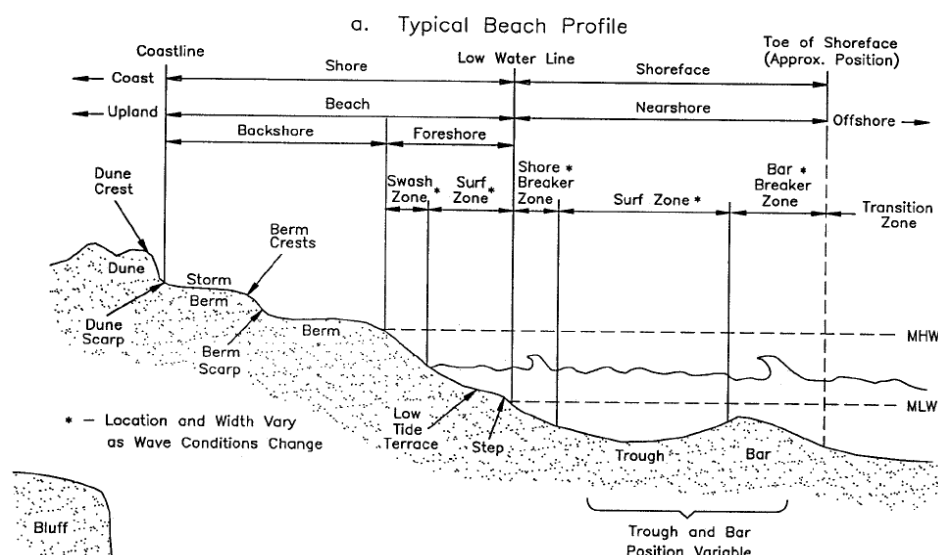


Figura 3. Perfil de praia comum (USACE, 2002)

Apesar dos conceitos poderem variar de autor para autor, na Figura 3, que representa o perfil de praia mais comum, de acordo com o âmbito deste trabalho, estão identificadas as principais zonas da praia, destacando-se os conceitos enunciados na Tabela 2.

Tabela 2. Principais conceitos do sistema praia (Silva, 2012)

<i>Backshore</i> ou <i>Backbeach</i> (alta praia ou ante-praia)	Zona superior da praia geralmente seca e constituída por bermas de praia com formação associada a grandes temporais, localizada em posição superior à da atuação das ondas e das marés ordinárias entre a crista da berma e as dunas ou arribas.
<i>Backwash</i> (Refluxo)	Movimentação da água, após o espraio, na direção do oceano pela acção da gravidade.
<i>Beach face</i> (Face da praia)	Zona da praia em posição inferior à crista de praia, normalmente exposta à actuação da rebentação e do espraio das ondas.
<i>Foreshore</i>	Porção inclinada do perfil de praia compreendido entre a crista da berma de praia (ou, na ausência desta, entre o limite superior da zona abrangida pelo espraio da onda na maré cheia) e a zona da baixa-mar marcada pelo refluxo da onda subsequente ao espraio.
<i>Nearshore</i>	Zona que se estende desde o nível mínimo de baixa-mar para além da zona de <i>surf</i> . Alguns autores englobam a zona de espraio.
<i>Offshore</i>	Zona posterior à formação das ondas, a partir da qual a profundidade deixa de sofrer modificações significativas.
<i>Runup</i>	Nível atingido pela água na praia após a rebentação e normalmente é superior à altura da onda.
<i>Swash</i> ou <i>Uprush</i> (Afluxo, enchente ou espraio)	Movimentação ascendente da água da onda incidente, após a rebentação, através da face da praia.
<i>Swash zone</i> (Zona de Espraio ou Ressaca)	Zona da face de praia em que ocorre o espraio da onda.
<i>Surf zone</i>	Zona onde as ondas que quebram na zona de rebentação se estendem ao longo da face de praia.

Com o objetivo de determinar os níveis máximos de inundação para os pontos em estudo, foi necessário calcular o respetivo *runup* (R). Para tal, foram utilizadas várias fórmulas empíricas,

de modo a que os resultados obtidos melhor espelhem as características da área de estudo. Os responsáveis pelas fórmulas são Hunt (1959), Holman (1986), Stockdon *et al.* (2006), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero *et al.* (2001), Guza e Thornton (1982), e Teixeira (2009) (com duas fórmulas), e as equações por eles desenvolvidas foram escolhidas por terem sido utilizados dados de base de praias com características semelhantes aos utilizados neste estudo ou por serem fórmulas já utilizadas em trabalhos anteriores que apresentaram resultados representativos.

-Hunt *et al.* (1959)

Hunt, através de uma série de ensaios laboratoriais, estudou o comportamento das ondas quando atingem obras de proteção costeira, ou seja, como ocorre a dissipação de energia das ondas, especialmente o *uprush*. O talude da estrutura é impermeável. O autor assumiu que é conhecido o *storm water level* (nível de água de tempestade) que é dado pela soma do nível médio da maré com o nível devido ao *set-up* do vento. O termo “*deep water*” (águas profundas) considera que $D/L > 1/2$, em que D é a altura de água desde o fundo até ao nível de água de tempestade, e L o comprimento de onda num dado ponto. Ou seja, considera que a água é profunda quando é maior do que metade do comprimento de onda à superfície. O período da onda, T, foi considerado constante nas aproximações à costa. As ondas aproximam-se da estrutura de frente e as alturas de onda não são afetadas pela refração. Contudo, é considerado o declive existente na praia e as ondas também se aproximam frontalmente. A formulação foi diferenciada para *breaking waves* e para *surging waves* (rebentação progressiva), sendo considerado que sempre que $(H/T^2)^{1/2} > \tan\beta$, ocorrem *breaking waves*, i.e., as ondas caem sobre a estrutura.

$$R_{2\%} = \tan \beta * (H * L_0)^{0,5} \quad (3)$$

Quando $(H/T^2)^{1/2} < \tan\beta$, estamos perante *surging waves*, que não rebentam na estrutura, não dissipando a energia pela rebentação, mas por reflexão. De acordo com os testes em modelo reduzido, quando $(H/T^2)^{1/2} = \tan\beta$:

$$R_{2\%} \approx 3H \quad , \text{ para } \begin{cases} \tan\beta^2 > \frac{H}{T^2} \\ H \approx H_0 \end{cases} \quad (4)$$

Para ambas as fórmulas assume-se que $H \approx H_0$, pois o autor considera que é uma suposição que vai de encontro à maioria das condições costeiras reais.

Hunt segue também a teoria de Miche, que demonstrou que um declive de 45° é capaz de refletir 100% da maioria das ondas incidentes. Assim, para $\beta \geq 45^\circ$, estamos perante *surging waves* e para valores de β menores que 45°, *breaking waves*.

-Holman (1986)

Os trabalhos realizados por Holman (1986) referem-se a praias naturais, onde durante as medições a altura de onda variou entre 0,4 e 4m, o período incidente entre 6 e 16s e a declividade da onda entre 0,07 e 0,20.

Os dados recolhidos durante o estudo incluíram uma tempestade com período de retorno de 2 a 5 anos, para a qual as ondas incidentes apresentaram um declive de 0,025, valor de acordo com o que foi determinado por Battjes (1970) como típico de tempestades, assim, em associação com o número de Iribarren:

$$\xi_{0 \text{ storm}} = 6,3\beta \quad (5)$$

Para o caso dos 2% de excedência do *runup*, utilizando a reta de regressão encontrada através dos valores obtidos nas praias:

$$R_{2\%} = H_s * (5,2\beta + 0,2) \quad (6)$$

Assim, substituindo na equação os dados referentes a tempestades (o n° de Iribarren), para a agitação ao largo temos:

$$R_{2\%} = H_0 * (0,83 \xi_0 + 0,20) \quad (7)$$

Para cálculos referentes a agitação junto à costa, vem:

$$R_{2\%} = H_s * (0,78 * \xi_s + 0,20) \quad (8)$$

-Nielsen e Hanslow (1991)

De acordo com Nielsen e Hanslow, o *runup* pode assumir formas bastante diferentes, pois depende do declive da praia, da declividade da onda (*wave steepness*), da rugosidade do declive (*slope roughness*) e da permeabilidade do declive (*slope permeability*). As diferentes combinações destes parâmetros impelem as ondas a rebentar em diferentes zonas da praia. Iribarren e Nogales (1949) demonstraram que as variáveis mais importantes são o declive da praia e a declividade da onda. Battjes (1971) formulou que quando $H_0/L_0 < 0,19 \tan^2\beta$ não ocorre rebentação e quando $H_0/L_0 > 0,19 \tan^2\beta$ ocorre rebentação, onde H_0 é a altura de onda, L_0 o comprimento de onda e $\tan\beta$ o declive da praia. Em correspondência, o n° de Iribarren, bom descritor da zona de *surf*, é dado por:

$$\xi_0 = (L_0/H_0)^{0,5} * \tan\beta^2 \quad (9)$$

Para a obtenção de um valor de declive de praia bastante preciso, seria necessário identificar todo o histórico da deformação causada pelas ondas e da sua penetração na zona de *surf* externa e calcular o declive da face da praia. Contudo, dada a pouca compreensão da dinâmica das *breaking waves* especialmente em praias com uma topografia complexa, e pela facilidade de medição, mesmo em condições de tempestade, o autor optou por considerar apenas o declive da face da praia, $\tan\beta_F$, mesmo sabendo que o declive de outras partes da zona de *surf* influenciam o *runup*. Os autores seguiram a formulação de Battjes (1971) com a qual, caso ocorra uma correlação perfeita entre H e T (altura de onda e período), o z_{wm} segue a distribuição de Rayleigh:

$$P\{z_{wm} > z\} = \exp\left[-\left(\frac{z-z_{100}}{L_{RU}}\right)^2\right] \quad (10)$$

onde z_{100} é o nível mais alto transposto por 100% das ondas e L_{RU} é a escala vertical da distribuição. Esta equação foi considerada pelos autores como uma aproximação razoável à maioria das distribuições de *runup* medidas. Os autores partiram da equação de Hunt (1959):

$$L_{RU} = H_{0rms} * \xi_0 = (H_{0rms} L_0)^{0.5} \tan\beta \quad (11)$$

para o cálculo do L_{zwm} , sendo a equação melhor ajustada quando $\tan\beta_F \geq 0,10$. No entanto, apesar de para praias escarpadas a equação ser um bom indicador da escala vertical de L_{zwm} , existia a dificuldade de determinar o declive destas praias. Empiricamente, utilizando o declive da face da praia, para praias reflexivas, os autores chegaram a:

$$L_{RU} = 0,6 * \tan\beta * (H_{0rms} L_0)^{0.5} \quad \text{para } \tan\beta \geq 0,10 \quad (12)$$

de modo a que o declive nominal da praia utilizado na fórmula de Hunt para praias escarpadas seja de $0.6 \tan\beta$ – substancialmente menor do que o declive da face da praia.

Para praias dissipativas os dados de Nielsen e Hanslow indicam que a escala vertical da distribuição não é proporcional ao declive da praia. A relação segue desta vez a tendência:

$$L_{RU} = 0,05 (H_{0rms} L_0)^{0.5} \quad \text{para } \tan\beta < 0,10 \quad (13)$$

pois L_{RU} aparenta ser independente do declive da praia para as praias mais planas.

-Ruggiero *et al.* (2001)

Na Figura 4 é apresentado o modelo de erosão induzida pelas ondas na base das arribas. Segundo este modelo, a erosão causada pelas ondas na ante-praia, sejam estas dunas (*foredunes*) ou arribas, depende da altura que a água atinge relativamente à altura da *fronting beach* (frente da praia). O nível de água total é dada pela soma de dois componentes principais, a elevação da maré medida, E_T , e o *runup*, R .

E_T consiste na maré astronómica prevista mais os efeitos dos vários processos que influenciam o nível médio da água, tais como a temperatura da água, os efeitos geostróficos das correntes e a presença de vento, especialmente na costa, onde podem causar a sobrelevação do nível do mar ou *storm surge* e os vários processos associados à presença do *El Niño* (Komar e Enfield, 1987; Komar, 1998; Ruggiero *et al.*, 2001).

R , o componente vertical do *runup*, consiste no *setup* das ondas que eleva a linha de costa média e as flutuações do *swash* na linha de costa normal. A erosão provocada pela ondulação irá iniciar-se quando a elevação total da água, aquando o *runup* máximo, exceder a elevação da face da praia, E_J , i.e. quando $E_T + R > E_J$, como representado na Figura 4.

Dado isto, o modelo avalia a suscetibilidade da costa à erosão através da previsão da ocorrência de marés extremas, do cálculo do *runup* aquando tempestades severas, e a probabilidade destes dois processos ocorrerem ao mesmo tempo.

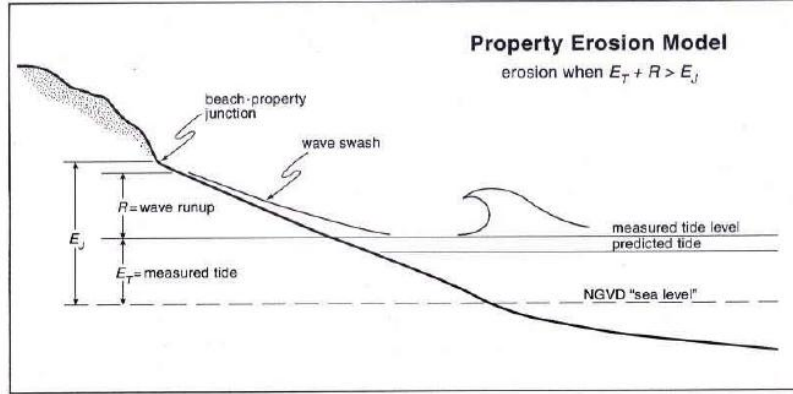


Figura 4. Modelo de erosão induzida pelas ondas na base das arribas (Ruggiero *et al.*, 2001)

Com base em vários ensaios laboratoriais, Battjes (1974) demonstrou que existe uma dependência entre a elevação vertical máxima do *runup*, $R_{\text{máx}}$, padronizado pela altura significativa da onda em água profunda, H_s , e o número de Iribarren ξ_0 :

$$\frac{R_{\text{máx}}}{H_s} = C\xi_0 \quad (14)$$

sendo C uma constante adimensional. Esta constante, segundo Van der Meer e Stam (1992), depende da rugosidade e porosidade da estrutura.

O número de Iribarren, é dado por:

$$\xi_0 = \frac{S}{(H_s/L_0)^{1/2}} \quad (15)$$

onde S é o declive da praia (igual à $\tan \beta$) e L_0 é o comprimento de onda de águas profundas, calculado pela expressão:

$$L_0 = (g/2\pi)T_p^2 \quad (16)$$

onde g é a aceleração da gravidade, e T_p o período da onda.

Valores baixos de ξ_0 são representativos de praias relativamente dissipativas, enquanto valores mais elevados ocorrem para praias refletivas (Wright e Short, 1983; Ruggiero *et al.*, 2001).

Holman e Sallenger (1985) e Holman (1986) com recurso a uma série de dados provenientes da praia de Field Research Facility (FRF) em Duck, na Carolina do Norte, EUA, demonstraram que o *runup* em praias naturais também depende do número de Iribarren (eq. 7 e 8).

Quando a elevação do *runup* é expressa como sendo a excedência em 2% de *runup* máximo, $R_{2\%}$, $C \approx 0,9$. As condições para que 2% do *runup* máximo alcance ou exceda a elevação do limite da face da praia foram consideradas como uma boa aproximação à erosão potencial.

Ruggiero *et al.* concluíram que a equação que melhor se adaptava aos dados de Oregon, onde as praias são do tipo dissipativo, era

$$R_{2\%} = 0,5 * H_0 - 0,22 \quad (17)$$

Contudo, quando utilizada esta equação nos dados de FRF de Holman (1986), a mesma correlação não se verificou, considerando-se que os problemas poderiam derivar do facto de serem dois sistemas dinâmicos diferentes. Assim, a parametrização final do *runup*, que explica a variação dos dados de Oregon e FRF, inclui o declive da praia, $\tan \beta$, e o comprimento de onda L_0 ,

$$R_{2\%} = 0,27 * (\tan \beta * H_0 L_0)^{0,5} \quad (18)$$

Esta equação deve ser utilizada para praias com maiores declives, apesar dos valores de *runup* continuarem a ser maiores para as condições extremas de ondulação de águas profundas. Deste modo, a equação (18) pode ser aplicada a praias dissipativas ou refletivas.

-Stockdon *et al.* (2006)

As fórmulas desenvolvidas por Stockdon *et al.* baseiam-se na fórmula de Holman (1986) para praias naturais e consideram que os parâmetros mais importantes são o *setup*, $\langle \eta \rangle$ e o *swash*, s .

A altura de onda foi medida ao largo, H_s , por boias entre os 7 e os 20m, assumindo-se uma aproximação normal à costa, estimando-se depois H_0 para cada nível de maré, com a conversão de alturas de água. Considerando que os valores de *runup* extremos são 2% do valor de excedência, $R_{2\%}$, o *runup* extremo é definido por:

$$R_{2\%} = \langle \eta \rangle + \frac{s}{2} \quad (19)$$

Todavia devido à natureza ligeiramente não –gaussiana do *swash*, os autores incluíram o declive da reta de regressão para diminuir o enviesamento:

$$R_{2\%} = 1,1 \left[\langle \eta \rangle + \frac{s}{2} \right] \quad (20)$$

Depois de várias considerações acerca das correlações do *swash*, *setup* e declive, com a rebentação das ondas e altura de água, para $\xi \geq 0,3$ obtém-se a fórmula geral:

$$R_{2\%} = 1,1 * (0,35 * \tan \beta * (H_0 L_0)^{0,5} + [(H_0 L_0 (0,563 * (\tan \beta)^{0,5} + 0,004))^{0,5}] / 2) \quad (21)$$

Para condições extremamente dissipativas:

$$R_{2\%} = 0,043 * (H_0 L_0)^{0,5} \quad \text{para } \xi < 0,3 \quad (22)$$

Os testes efetuados com este conjunto de equações verificaram que o *runup* extremo foi ligeiramente subestimado.

-Teixeira (2009)

A altura de espraio (ou *runup*) máximo ($R_{\text{máx}}$), como o autor traduz, é calculado uma vez que o mesmo assume que este nível corresponde ao limite de inundação máxima da praia, que é definido também como LMPMAVE.

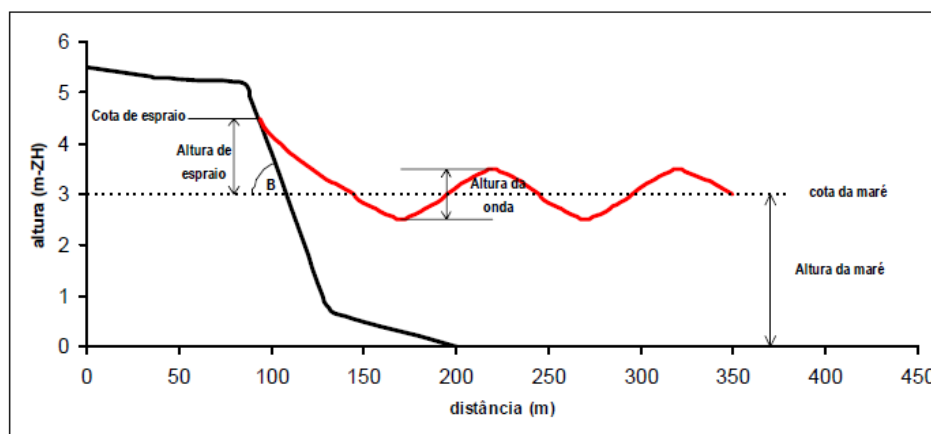


Figura 5. Definições utilizadas no cálculo do espraio (Teixeira, 2009)

A primeira equação para $R_{\text{máx}}$ baseia-se nas medições das cotas das linhas de preia-mar visíveis no areal e estimativas visuais da altura da ondulação incidente, efetuadas em sete praias aquando da realização do Plano de Ordenamento da Orla Costeira Burgau, Vilamoura, entre 1996 e 1999. A diferença entre a cota da linha de maré medida e o plano de preia-mar previsto nas tabelas de maré publicadas pelo Instituto Hidrográfico, através de uma regressão linear, permitiu encontrar a equação da reta melhor ajustada aos dados obtidos:

$$R_{\text{máx}} = 0,80 \cdot H_s + 0,62 \quad (23)$$

em que H_s é a altura significativa da ondulação ao largo estimada visualmente.

Esta primeira equação é mais simples e apenas considera a altura da ondulação. Mais tarde, Teixeira optou por considerar uma solução com os parâmetros escalares da ondulação e o declive. Para tal considerou os trabalhos em condições naturais, aqui já descritos, de Hunt (1959), Battjes (1971), Holman (1986), Nielson e Hanslow (1991) e Ruggiero *et al.* (2001), bem como trabalhos realizados em laboratório e em estruturas de defesa costeira.

Assim, com os dados recolhidos nos períodos 2002-2004 e 2007-2009, obtidos em medições no terreno, foi possível ao autor estabelecer uma correlação entre a altura de espraio, H_s , os parâmetros escalares da ondulação ao largo H_s , $T_{\text{máx}}$ e o declive da face da praia, β , através de uma regressão linear:

$$R_{\text{máx}} = 1.08 \cdot H_s \cdot \zeta_0 \quad (24)$$

-Guza e Thornton (1982)

Estes autores previram o *runup* significativo (média do terço mais alto dos *runup*), R_s , e não $R_{2\%}$, através da fórmula:

$$R_s = 0.71 * H_0 + 0.035 \quad (25)$$

determinada através de uma regressão linear entre R_s e H_0 , para praias dissipativas.

Apresentam-se na Tabela 3 as fórmulas que efetivamente serão utilizadas na metodologia adotada para este trabalho. Estas fórmulas aplicam-se a praias sem estrutura de proteção.

Tabela 3. Fórmulas utilizadas para o cálculo do *runup* em praias sem estrutura de proteção e respetivos autores

Autores	Fórmulas
Hunt (1959)	$R_{2\%} = \tan \beta * (H * L_0)^{0,5}$ com rebentação (<i>breaking waves</i>) (3)
	$R_{2\%} \approx 3 * H_s$ rebentação de fundo (<i>surging waves</i>) (4)
Holman (1986)	$R_{2\%} = H_0 * (0,83 * \xi_0 + 0,20)$ agitação ao largo (7)
	$R_{2\%} = H_s * (0,78 * \xi_s + 0,20)$ agitação junto à costa (8)
Nielsen e Hanslow (1991)	$R_{2\%} = L_{RU} (-\ln(0,02))^{0,5}$ (26)
	$L_{RU} = 0,6 * \tan \beta * (H_{orms} L_0)^{0,5}$ se $\tan \beta \geq 0,1$ (12)
	$L_{RU} = 0,05 * (H_{orms} * L_0)^{0,5}$ se $\tan \beta < 0,1$ (13)
Ruggiero et al. (2001)	$R_{2\%} = 0,5 * H_0 - 0,22$ praias dissipativas (17)
	$R_{2\%} = 0,27 * (\tan \beta * H_0 L_0)^{0,5}$ praias dissipativas a refletivas (18)
Stockdon et al. (2006)	$R_{2\%} = 1,1 * (0,35 * \tan \beta * (H_0 L_0)^{0,5} + [(H_0 L_0 (0,563 * (\tan \beta)^{0,5} + 0,004))^{0,5}] / 2)$ se $\xi \geq 0,3$ (21)
	$R_{2\%} = 0,043 * (H_0 L_0)^{0,5}$ se $\xi < 0,3$ (22)
Teixeira (2009)	$R_{máx.} = 0,80 * H_s + 0,62$ (mais antiga) (23)
	$R_{máx.} = 1,08 * H_s * \xi_0$ (mais recente) (24)
Guza e Thornton (1982)	$R_s = 0,71 * H_0 + 0,035$ praias dissipativas (25)

Do conjunto de equações apresentadas, para (3), (8), (12) e (13), L_0 é calculado com T_s . Para as equações (7), (18), (21) e (22) utiliza-se T_p . Por fim, para (24) é utilizado $T_{máx.}$

Para o cálculo do nível máximo de inundação (NMI), Raposeiro et al. (2013) sugerem utilizar a maré astronómica (MA) referida ao Zero Hidrográfico (ZH), a sobrelevação (*surge level* -SL) e o *runup* com probabilidade de não ocorrência de 2% ($R_{2\%}$):

$$NMI = MA + SL + R_{2\%} \quad (27)$$

Esta abordagem é bastante simplificada, dada a quantidade e complexidade dos fenómenos que ocorrem nas zonas costeiras, contudo foi utilizada face aos dados disponíveis.

O nível máximo de inundação, neste caso consiste no somatório do nível de maré, que inclui a maré astronómica e a sobre-elevação, proveniente do marégrafo de Cascais, e o valor de $R_{2\%}$, proveniente das fórmulas anteriormente descritas. Como nem todas têm por resultado o $R_{2\%}$, há que considerar as seguintes equações, válidas quando se admite estar perante uma distribuição de Rayleigh para os *runup*'s individuais (Neves, 2013):

$$R_s = R_{2\%}/1,4 \quad (28)$$

$$R_{\text{médio}} = 0,63 * R_s \quad (29)$$

$$R_{1\%} = 1,52 * R_s \quad (30)$$

A utilização de $R_{2\%}$ para o cálculo do NMI surge em substituição de $R_{\text{máx}}$ devido à dificuldade de estimar este parâmetro por métodos que não sejam laboratoriais. Considerou-se que $R_{1\%}$ seria uma boa aproximação a $R_{\text{máx}}$, aplicando-se de seguida as equações 28 a 30 para o cálculo de $R_{2\%}$ (Neves, 2013).

3.3. Estudo do *runup*/galgamento em estruturas

O galgamento é o fenómeno associado à transposição de um volume de água sobre o coroamento da estrutura de defesa por ação das ondas, como apresentado na Figura 6. Ou em zonas de águas pouco profundas ou com o pé da estrutura ligeiramente acima do nível de água. É comumente expresso em unidades de caudal médio por metro linear da estrutura, isto é, em $\text{m}^3\text{s}^{-1}/\text{m}$, ou em ls^{-1}/m , e depende maioritariamente da altura significativa da onda no pé de estrutura H_s , comprimento de onda L , distância entre a cota de coroamento da estrutura, R_c , nível médio da água (NMA), profundidade da água no pé da estrutura d_s , período da onda T , talude da estrutura de defesa α , aceleração gravítica g , e ângulo de incidência da onda β (Afonso, 2011).

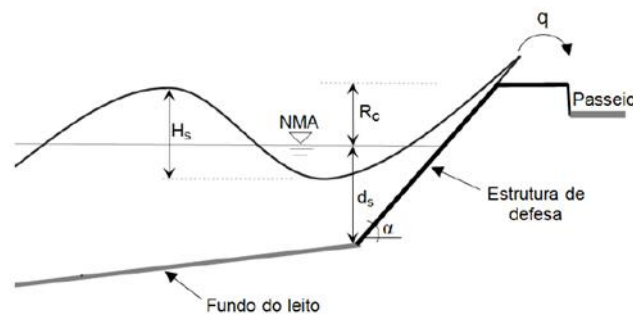


Figura 6. Galgamento numa estrutura de proteção longitudinal aderente (Afonso, 2011)

Devido à influência do nível de maré, mesmo quando a altura de onda H é reduzida podem ocorrer galgamentos, nomeadamente na preia-mar quando o nível de maré se encontra acima do nível médio, o que diminui a distância entre a cota de coroamento da estrutura e o nível da água.

O facto de existir menor área de talude emerso diminui a dissipação de energia e por conseguinte aumenta a probabilidade de galgamentos.

Outro dos fatores com uma influência considerável na ocorrência dos galgamentos é a conformação da estrutura de proteção e os materiais que a constituem, sendo que a aplicação de bermas e a utilização de formas mais complexas aumenta a descontinuidade do perfil da estrutura e permite uma maior dissipação de energia (Neves, 2013; Silva *et al.*, 2012).

O galgamento pode ocorrer por transposição do coroamento da estrutura de uma lâmina contínua de água, fenómeno conhecido por *Green water*, por salpicos devidos à rebentação de uma onda na parede exterior da estrutura, ou *Splash*, e por *Spray*, quando o vento forma borrifos (Afonso, 2011).

O cálculo do caudal médio galgado por metro linear de estrutura, q (l/s/m), pode ser efetuado por várias metodologias, sendo do conhecimento que os modelos físicos são os que melhores resultados apresentam uma vez que têm menos dificuldade em modelar fenómenos como a rebentação junto ao talude, que forma grande turbulência, quando comparado com a modelação numérica (Neves, 2013). Contudo, o elevado custo, morosidade dos ensaios em modelo físico e a dificuldade de compreender e reproduzir todas as variáveis que interferem no galgamento leva à utilização de modelos numéricos que têm uma capacidade de processar um maior número de informação, recorrendo-se à capacidade computacional para resolver equações e algoritmos matemáticos (Silva *et al.*, 2012).

Assim, Coeveld *et al.* (2005) criaram o NN_OVERTOPPING2, uma ferramenta que consiste na utilização de 700 redes neuronais para prever o caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura, conseguindo corrigir estes valores para um caudal médio galgado que considera os efeitos de escala e de modelo (Silva *et al.*, 2012).

Esta ferramenta deve ser aplicada dentro dos limites utilizados para a sua geração (Coeveld *et al.*, 2005), o que implica que apenas seja útil para cálculos de galgamento em estruturas localizadas no mar.

Deste modo, de acordo com as características da área de estudo, a metodologia que melhor se adapta é a desenvolvida por Mase *et al.* (2013), que é específica para a previsão de *runup* e galgamento em estruturas de proteção costeira construídas em terra ou em águas pouco profundas.

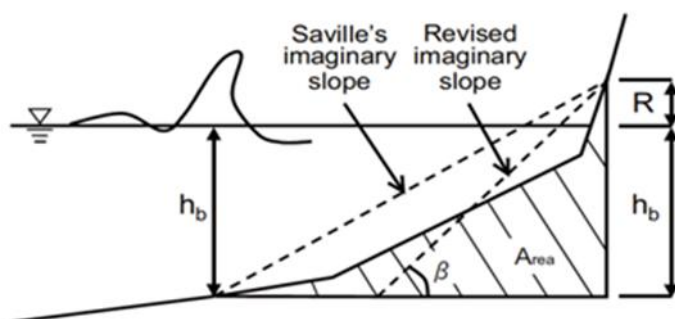


Figura 7. Declive imaginário, considerando o *foreshore* e a estrutura transversal (Mase *et al.*, 2013)

Os autores utilizam um conjunto de dados provenientes de ensaios em modelo físico reduzido em laboratório, onde foram simuladas três praias com diferentes estruturas de proteção. Depois de compiladas fórmulas de *runup* e galgamento de vários autores, foi proposta a utilização das características das ondas em águas profundas como *input* e adotado o conceito de declive imaginário (Mase *et al.*, 2013).

A estimativa de um declive imaginário proposta inicialmente por Saville (1958), apresentada na Figura 7, advém do facto de, maioritariamente, o declive das estruturas de proteção não ser uniforme. Assim, é definida uma linha que liga dois pontos, em que um dos pontos se encontra no fundo do mar, onde se dá a rebentação das ondas e o outro no limite do espraio da onda. Como é necessário conhecer o declive imaginário para calcular o *runup* e vice-versa, esta variável é calculada iterativamente, pela fórmula:

$$\frac{1}{\tan\beta} = \frac{2Area}{(h_b + R)^2} \quad (31)$$

em que $\tan\beta$ representa o declive imaginário, Area a área transversal da estrutura e da faixa litoral submersa entre o local de rebentação das ondas e o nível de *runup* e R representa o *runup* para ondas irregulares. h_b é a profundidade onde as ondas significativas se tornam 7% menores do que as calculadas sem a variável de dissipação de energia, pelo modelo de Mase e Kirby (1993). As equações para o cálculo do *runup*, apresentadas na Tabela 4, foram formuladas com recurso a dois conjuntos de dados experimentais de *runup*. Um refere-se a um modelo à escala de 1:50, em canal de 50 m de comprimento, 1 m de largura e 1,2 m de profundidade, equipado com um gerador com absorção ativa das ondas refletidas. As três praias apresentam-se com uma estrutura de proteção com declives entre 1:0,5 e 1:3. O outro modelo é à escala 1:45 e também possui estrutura de proteção. Os declives de fundo aplicados são 1/10, 1/20 e 1/30.

Tabela 4. Fórmulas de Mase *et al.* (2013) para praias com estruturas de proteção costeira construídas em zonas de águas pouco profundas ou com o pé da estrutura essencialmente acima do nível de água

	Fórmulas	Condições de aplicação
<i>Runup</i>	$R_{2\%} = H_0 * (2,99 - 2,73 * \exp(-0,57 * \tan\beta / \sqrt{(H_0/L_0)}))$ (32)	$0,2 < \tan\beta / \sqrt{H_0/L_0} < 4$ aprox. $0,009 < \sqrt{H_0/L_0} < 0,06$ $-0,37 < h/H_0 < 0,53$
	$R_{1/10} = H_0 * (2,72 - 2,56 * \exp(-0,58 * \tan\beta / \sqrt{(H_0/L_0)}))$ (33)	
	$R_{1/3} = H_0 * (2,17 - 2,18 * \exp(-0,70 * \tan\beta / \sqrt{(H_0/L_0)}))$ (34)	
<i>Galgamento</i>	$q = \sqrt{(gH_0^3)} * [0,018 * (R_{\max}/H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c/H_0)/(R_{\max}/H_0)\} 6,24]$ (35)	$R_{\max} = 1,09 * R_{2\%}$ $0 \leq R_c < R_{\max}$ Se $R_{\max} \leq R_c$, $q=0$
	$q = \sqrt{(gH_0^3)} * [0,018 * (R_{\max}/H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c/H_0)/(R_{\max}/H_0)\} 6,24]$ (36)	$R_{\max} = 1,54 * R_{2\%}$ $0 \leq R_c < R_{\max}$ Se $R_{\max} \leq R_c$, $q=0$

Tabela 5. Condições de aplicação das fórmulas de Mase *et al.* (2013)

Condição	Valor (à escala do modelo)	Valor (à escala real)
Escala do modelo	1/45; 1/50	-
Altura de onda	3,8 – 12,82 (cm)	1,71 – 6,41 (m)
Período de pico	0,8s – 2,1 (s)	5,4-14,8 (s)
Declividade da onda H_0/L_0	0,009 – 0,06	0,009 – 0,06
Profundidade	40,0; 42,5; 43,0; 45,0 (cm)	18 – 22,5 (m)
Declive do fundo do mar $\tan\theta$	1/10; 1/20; 1/30	1/10; 1/20; 1/30
Talude da estrutura de proteção $\cot\alpha$	0,5; 3,0	0,5; 3,0

Segundo Pullen *et al.* (2007), antes de calcular o caudal galgado por metro linear de estrutura, é necessário fazer a correção do valor de $R_{m\acute{a}x}$ de forma a contemplar o nível de permeabilidade e rugosidade da berma da estrutura. Caso a berma de coroamento seja permeável, é necessário aplicar um coeficiente de redução do galgamento (Cr):

$$Cr = 3,06 \exp(-1,5G_c / H_{m0}) \quad (37)$$

$$\text{se } Cr > 1 \text{ ou } G_c / H_{m0} < 0,75 \text{ considera-se } Cr = 1 \quad (38)$$

$$\text{O caudal final } (Q_f) \text{ é dado por: } Q_f = q * Cr \quad (39)$$

3.4. Avaliação do risco

A determinação da altura de onda, do *runup* e do nível máximo de inundação nas praias em estudo, permite estabelecer um paralelo com o efetivo risco de inundação a que pessoas, bens e estruturas estão sujeitos na Costa da Caparica. A metodologia apresentada neste trabalho assenta nas metodologias empregues por Raposeiro e Ferreira (2011), Ferreira (2006) e Ferreira (2009), definida por cinco passos:

- Divisão da área de estudo em sub-áreas com características semelhantes no que concerne ao tipo de defesa costeira;
- Determinação dos limites admissíveis para as cotas de inundação máxima para cada área em estudo;
- Determinação da probabilidade de ocorrência de níveis de inundação que excedam os limites pré-determinados para cada área de estudo;
- Definição dos fatores qualitativos associados às consequências ao nível de danos na propriedade em cada sub-área, causados pela excedência dos limites de inundação pré-estabelecidos para a zona em questão;
- Combinação dos passos acima descritos para a avaliação do risco de inundação.

Para tal foi criado um esquema de três tabelas, onde com a sua combinação é possível determinar o risco de inundação:

- a. Tabela de probabilidade de ocorrência de um evento adverso, à medida que a onda induz a inundação.

A probabilidade de ocorrência de um evento foi dividida em cinco níveis, que correspondem aos intervalos de probabilidade de excedência dos limites de inundação pré-definidos. A cada nível corresponde uma descrição qualitativa.

Tabela 6. Tabela de Probabilidade de Ocorrência (Raposeiro *et al.*, 2010, Raposeiro e Ferreira, 2011)

Descrição	Probabilidade de Ocorrência (Guia de Orientação)	Grau
Improvável	0 – 1%	1
Raro	1 – 10%	2
Ocasional	10 – 25%	3
Provável	25 – 50%	4
Frequente	> 50%	5

Para a obtenção das probabilidades de ocorrência (Tabela 6) é necessário recorrer a limites pré-definidos, como os estabelecidos por Pullen *et al.* (2007), que indicam os danos que podem ocorrer nas estruturas marítimas (Tabela 7), pessoas (Tabela 8) e bens (Tabela 9), para os caudais médios galgados.

Tabela 7. Valores do caudal médio de galgamento admissível para estruturas marítimas (Neves, 2013; adaptado de Pullen *et al.*, 2007)

Condições e tipo de danos		Caudal médio q (l/s/m)
Estrutura de defesa com talude no tardo	Sem danos se o coroamento e o tardo estiverem bem protegidos.	50 – 200
	Sem danos no coroamento e no tardo de um dique de argila coberto por relva.	1 – 10
	Sem danos no coroamento e no tardo mesmo se não estiverem protegidos.	0,1
Defesas frontais	Danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa frontal.	200
	Danos em zonas de circulação relvadas ou levemente protegidas.	50

Tabela 8. Valores do caudal médio de galgamento admissível para pessoas (Neves, 2013; adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

Condições e tipo de danos	Caudal médio q (l/s/m)
Pessoal treinado, com equipamento e calçado adequado, com percepção de que se pode molhar. O galgamento gera escoamentos de pouca altura, sem jatos de água a cair, perigo reduzido de queda para o mar.	1 – 10
Pessoas cientes, com visão clara do mar, que não ficam facilmente perturbadas ou assustadas, capazes de tolerar o facto de ficarem molhadas, que se deslocam numa zona larga.	0,1
Pessoas totalmente desprevenidas, que não conseguem observar a agitação incidente, que podem facilmente ficar assustadas ou perturbadas, com vestuário inadequado para se molharem ou que se deslocam numa zona estreita ou propícia a tropeções e quedas.	0,03

Tabela 9. Valores de caudal médio de galgamento admissível para as diversas alternativas existentes em zonas abrigadas pela estrutura (Neves, 2013; adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

Condições e tipo de danos	Caudal médio q (l/s/m)
Danos significativos ou afundamento de grandes barcos	50
Afundamento de barcos pequenos localizados a 5-10m da estrutura	10
Danos em grandes barcos	
Danos em edifícios	1
Danos em equipamentos localizados a 5 – 10m da estrutura	0,4

b. Tabela de consequências da inundação

Esta tabela tem por objetivo descrever o tipo de consequências que ocorrem segundo o grau de inundação. As consequências descritas baseiam-se nas características mais significativas e sensíveis das zonas costeiras, focando naturalmente os seus pontos mais vulneráveis à inundação. A identificação dos valores naturais mais importantes e das áreas de elevada sensibilidade socio-económico-cultural considera uma série de critérios: os habitats com reconhecido valor ecológico, o uso do solo, a densidade de construção e a localização dos edifícios e de outros valores únicos relativamente ao elemento causador do risco.

Estes graus de consequências foram determinados de modo a que o grau de risco considere a importância do risco em relação ao seu controlo e priorização, i.e., existem eventos com elevada probabilidade de ocorrência, mas com um baixo grau de consequências, assim como eventos com baixo grau de probabilidade de ocorrência e elevado grau de consequências. As suas diferenças são significativas, contudo devem ser tratados com a devida atenção e não descurados pelo baixo grau de consequências ou de ocorrência que possam apresentar, mas sim pela sua avaliação como um todo (o risco).

Tabela 10. Tabela de consequências da inundação (Raposeiro e Ferreira, 2011)

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)	Grau
Insignificantes	Locais com características geotécnicas relativamente estáveis; praias de areia natural, locais ocupados por habitats de reduzido valor ecológico; caminhos locais ou valas de drenagem.	1
Reduzidas	Locais com solos de características geotécnicas fracas ou possuindo alguma vegetação do tipo arbustivo ou outro que lhe confira alguma estabilidade; áreas ocupadas por habitats em condições fitossanitárias débeis.	2
Sérias	Locais com infraestruturas de proteção costeira; locais com estruturas para atividades económicas relevantes; locais com características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis e de reduzida resistência à desagregação; áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico.	5
Muito Sérias	Locais com ocupação humana permanente (zonas urbanas planeadas); locais com características geotécnicas muitíssimo fracas, muito instáveis e de muito reduzida resistência á desagregação, sem vegetação estabilizadora; locais com elementos naturais de grande valor cuja perda seria difícil de compensar.	10
Catastróficas	Locais com ocupação humana permanente; locais absolutamente únicos e de enorme valor e cuja perda seria irreparável; sistema praia - duna.	25

c. Tabela de risco de inundação costeira, com base nas duas tabelas anteriores

O risco é calculado, como o produto da probabilidade de ocorrência de um evento adverso e o grau de consequência estimado (Raposeiro e Ferreira, 2011; Ferreira, 2006 e Ferreira, 2009):

$$\text{Grau de risco} = \text{Grau de probabilidade de ocorrência} * \text{Grau de consequências} \quad (40)$$

Deste modo, é possível construir uma tabela onde é feita a correspondência entre a probabilidade de ocorrência e o grau de consequências.

Tabela 11. Tabela de risco de inundação costeira (Raposeiro e Ferreira, 2011)

GRAU DE RISCO		Consequências				
		1	2	5	10	25
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25
	2	2	4	10	20	50
	3	3	6	15	30	75
	4	4	8	20	40	100
	5	5	10	25	50	125

Na Tabela 12, é descrita a avaliação da aceitabilidade do grau de risco, classificado em insignificante, reduzido, indesejável e inaceitável, para os quais são apresentadas as medidas de controlo de risco a adotar.

Tabela 12. Avaliação da aceitabilidade do grau de risco (Raposeiro e Ferreira, 2011)

Grau	Descrição	Controlo de Risco (Guia de Orientação)
1-3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.
4-10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável caso se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão.
15-30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.
40-125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (e.g. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).

Com esta tabela, à semelhança da metodologia aplicada por Raposeiro *et al.* (2010) em Vale do Lobo, é possível criar mapas de risco para a área de estudo, com a ajuda de um *software* de informação geográfica (ArcGIS). Para o desenvolvimento dos mapas das zonas inundáveis é necessário identificar as cotas de inundação e delimitar as áreas com altura inferior a esta cota (ou seja que podem ser inundadas). Será nestas áreas que se determina o grau de risco.

Por fim, são propostas estratégias, estáticas ou dinâmicas, de adaptação dos locais em risco (Tabela 13), que passam pela proteção, adaptação ou remoção do local, consoante a importância que este tem e o grau de risco que a sua frequência/utilização pode representar para os utentes.

Tabela 13. Estratégias de atuação nos locais em risco (Raposeiro e Ferreira, 2011)

	Proteção (continuar a utilizar as áreas vulneráveis)	Adaptação (continuar a viver em áreas vulneráveis, ajustando o estilo de vida e o trabalho)	Remoção (Abandono das zonas vulneráveis)
Estático	Estruturas	Construção compacta	Relocação de edifícios ameaçados
	Esporões	Adaptação do sistema de drenagem	
	Quebramares	Abrigos de emergência	
	Barreiras para a intrusão salina	para inundações	
Dinâmico	Fornecimento artificial de areia	Novas regras de construção	Restrições ao uso do solo
	Construção de dunas	Sistemas de alerta e evacuação	Delimitação de zonas de recuo
	Restauro ou criação de zonas húmidas	Seguro contra perigos com base no grau de risco	

4. CASO DE ESTUDO

4.1. Caracterização do local

4.1.1. Enquadramento histórico

A Costa da Caparica, cidade e freguesia do concelho de Almada, é uma importante zona balnear dos habitantes da Área Metropolitana de Lisboa, atraindo no verão uma população média flutuante de 35.000 visitantes (Junta de Freguesia da Costa da Caparica).

Esta utilização como zona balnear surgiu nas primeiras décadas do século XX, tendo sido até lá uma zona essencialmente piscatória. No início da década de 60, pouco antes da construção da Ponte 25 de Abril, algumas zonas da orla marítima costeira da Costa da Caparica verificavam já um desenvolvimento urbano relativamente denso, nomeadamente associado ao facto de ser uma área de lazer (Rocha, 2011).

Apenas algumas décadas mais tarde, com o grande desenvolvimento das redes de transporte, especialmente da rede rodoviária, e a inauguração do comboio da ponte, a Costa da Caparica começou a ser mais do que um pólo residencial, fixando-se nesta vários serviços, como a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (Rocha, 2011).

Além da evolução urbanística, a frente marítima da Costa da Caparica tem vindo a sofrer alterações significativas. Foi a partir de 1870 que se começou a verificar uma diminuição da restinga semi-submersa localizada entre a Cova do Vapor e o farol do Bugio. Essa língua de areia atuava como uma barreira ao transporte de sedimentos, que na Costa da Caparica ocorre predominantemente de sul para norte (Rocha, 2011; Gomes, 2009). Como a ondulação se desloca para sudoeste, a restinga atuava como um “mega esporão natural”, que permitia manter a areia nesta zona costeira (Rocha, 2011; Abreu, 2010).

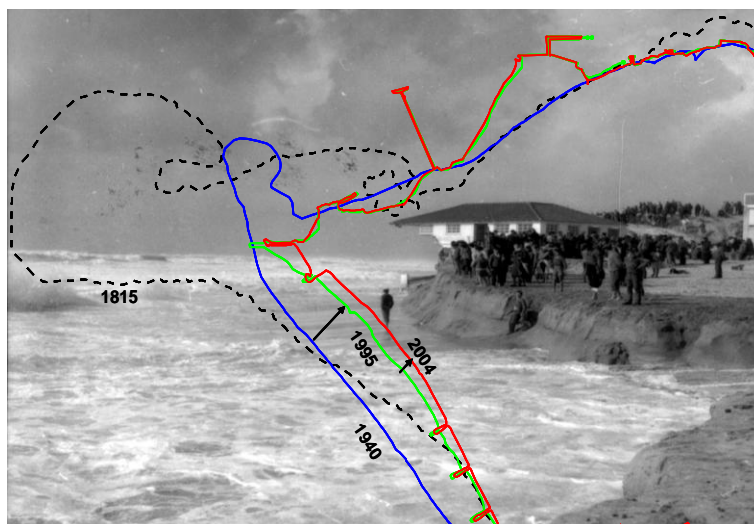


Figura 8. Evolução da linha de costa (adaptado de Rocha *et al.*, 2007)

Com as dragagens de areia da restinga para os aterros do troço de Algés-Belém, a restinga acabou por romper na década de 40, sendo a partir daí que se começou a verificar o recuo mais evidente da linha de costa, tendo sido necessárias obras de defesa costeira. Os sete esporões e a obra de proteção aderente foram construídos na frente urbana da Costa da Caparica entre 1959 e

1971. Desde essa data até 2000, apesar da perda de areia das praias ser frequente, a linha de costa não se alterou significativamente. Conquanto, desde o início do séc. XXI têm ocorrido episódios pontuais de grande violência, em que o mar avança, removendo muita areia e causando prejuízos em bens materiais. Esta situação é evidente na Figura 8, onde é possível observar as diferenças na linha de costa entre 1870 e 2001 (Rocha, 2011).

4.1.2. Descrição do local

As praias da Costa da Caparica inserem-se no Arco Litoral Caparica-Espichel, sendo caracterizadas por uma planície costeira baixa e arenosa, mais larga a norte do que a sul, com a Arriba Fóssil da Costa da Caparica a Este (Santos e Vargas, 2012).

A área em estudo, que se estende desde a praia de S. João da Caparica à Praia Nova, tem um comprimento total de cerca de 3,3 km, estando protegida por oito esporões que separam cada uma das praias, algumas das quais possuem também uma estrutura de proteção aderente.

Durante o intervalo de tempo analisado foram registados alguns fenómenos de galgamento e destruição da zona costeira, assim como ocorreram enchimentos de areia que permitiram repor uma parte da areia arrastada (Figura 9). Entre 2007 e 2012, o INAG realizou 3 enchimentos da zona emersa da praia, num total de 2,5 milhões de m³ de areia repostos (Pinto *et al.*, 2012).



Figura 9. Enchimento de areia na Costa da Caparica, realizado em Agosto de 2014

As praias de S. João da Caparica e do Norte são caracterizadas como praias do Tipo II – Praia não urbana com uso intenso (praia peri-urbana), afastada de núcleos urbanos, mas sujeita a forte procura (segundo o POOC), e as restantes são classificadas como do Tipo I – Praia urbana com uso intenso (praia urbana), adjacente a um núcleo urbano consolidado, sujeita a forte procura. No Anexo I é possível consultar as fichas de praia, descritas mais detalhadamente.

Numa das visitas técnicas ao local, em Julho de 2013, verificou-se que as estruturas de proteção são constituídas por uma camada, com enrocamento de dimensões diferentes. O núcleo é

constituído por areia e pedra de diferentes granulometrias, observável na Figura 10. A areia das praias é de origem sedimentar (Neves, 2013).



Figura 10. Constituição das estruturas de proteção, com detalhe do núcleo e base da estrutura (04-04-2014)

O sistema dunar é frágil e na praia de S. João da Caparica existem estruturas de madeira construídas na duna frontal. Nas restantes praias, os bares estão construídos por cima da estrutura de proteção aderente (Figura 11).

As praias estão sujeitas à ação das marés (astronómicas e meteorológicas) e à interação da agitação incidente. A influência do rio Tejo é também importante, pois trata-se de um subsistema hidromorfológico de transição entre o sistema estuarino e o sistema costeiro (Neves, 2013).



Figura 11. Coroamento da estrutura de proteção aderente nas praias urbanas (04 -04-2014)

Sazonalmente as praias da Costa da Caparica vão sofrendo alterações na sua morfologia, tanto decorrentes da normal dinâmica de sedimentos das zonas costeiras, como do enchimento artificial com areia. Contudo, a exposição direta da frente urbana às ações do mar advém do desaparecimento da restinga Cova do Vapor-Bugio. Especialmente durante a ocorrência de tempestades e marés vivas ocorrem as situações de maior perigosidade. Na Figura 12 estão compiladas as principais ocorrências registadas na Costa da Caparica entre 2006 e 2012, e que demonstram a instabilidade do sistema. A nível dos danos causados, destaca-se a erosão das praias e do cordão dunar adjacente, os prejuízos em infraestruturas de proteção/defesa costeira, no passeio marginal, nos estacionamento, em equipamentos, apoios de praia, bares e restaurantes.

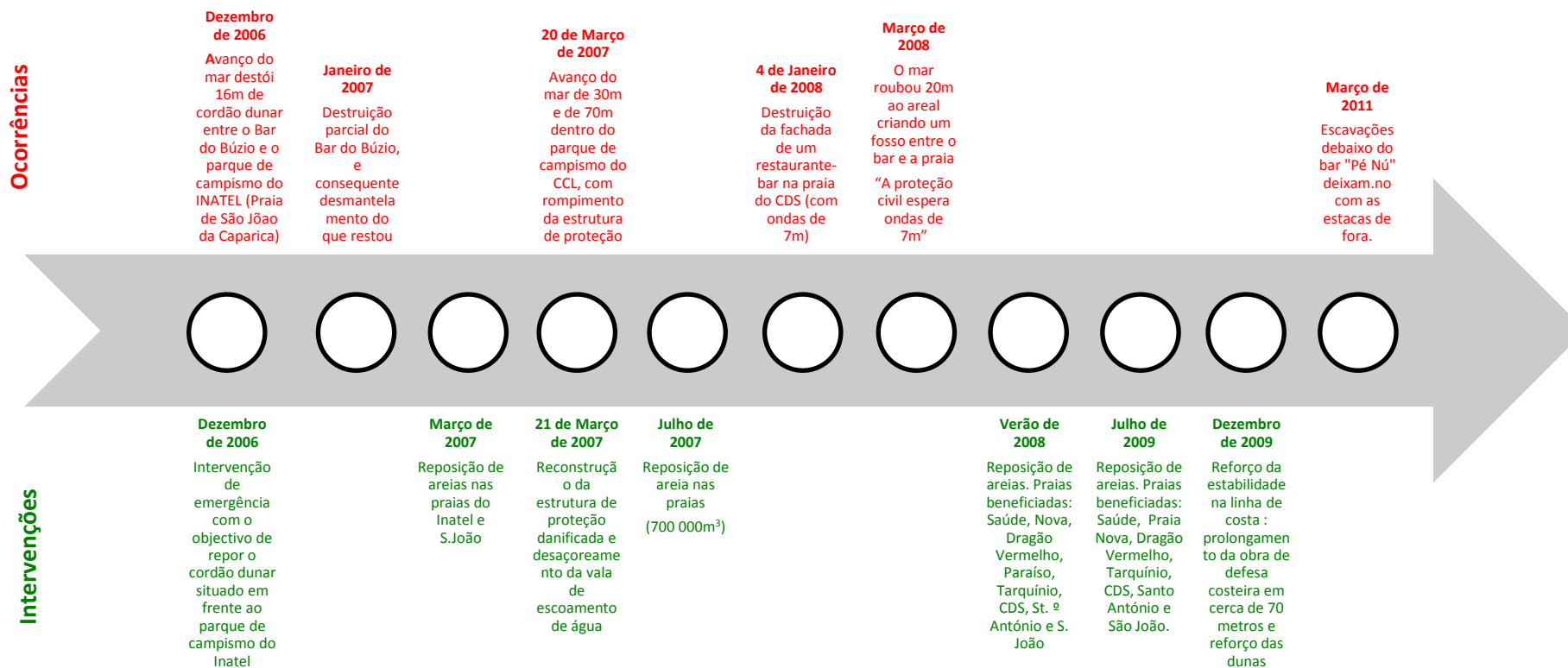


Figura 12. Cronograma das ocorrências registadas nas praias da Costa da Caparica, entre 2006 e 2012, e intervenções realizadas.

4.2. Caracterização da Agitação marítima - Modelo SWAN

4.2.1. Condições de aplicação do modelo SWAN

Batimetria, Condições de Fronteira ao Largo, Ventos e Marés

A aplicação do modelo SWAN implica o conhecimento das variáveis físicas que caracterizam a agitação ao largo, os ventos e as marés. Para este trabalho, não foi considerado o campo de ventos uma vez que a informação necessária não estava disponível.

Relativamente à agitação ao largo, as condições de forçamento do modelo SWAN provieram do modelo WWIII (Tolman, 2002), possibilitando a previsão da agitação marítima na área em estudo. Os valores considerados foram a altura significativa espectral (H_{m0}), o período de pico (T_p) e da direção de onda para a frequência de pico (θ). Estes dados têm uma periodicidade de 6 horas e referem-se ao período entre outubro 2007 e dezembro de 2012. Estes valores foram obtidos com a ajuda de um *software* desenvolvido para o *download* automático no ponto de coordenadas geográficas (-9.748801 W, 38.56720 N) (Neves, 2013).

O nível de maré, considerado variável, foi fornecido pelo marégrafo de Cascais (IGEO) tendo já incluída a sobrelevação do nível do mar ou *storm surge*. Esta sobrelevação descreve a subida temporária do nível do mar como consequência das condições meteorológicas inconstantes, nomeadamente de variações no campo da pressão atmosférica e/ou da ação de ventos fortes e prolongados (Neves, 2013).

Para a representação da batimetria foi utilizada a informação proveniente da malha do SWAN que se considerou ser a mais adequada ao estudo. Esta malha é proveniente das cartas batimétricas do IH. Contudo é de frisar que considerando os vários episódios de enchimento artificial das praias e de erosão costeira, a batimetria terá sofrido alterações com o decorrer dos anos. Para a altimetria foi utilizada a informação do LIDAR (*Light Detection and Ranging*), bastante mais detalhada do que a do SWAN e que por isso permite criar uma imagem digital do terreno mais precisa. O LIDAR é um instrumento de deteção remota que utiliza um laser na gama do infravermelho para mapear tanto a superfície terrestre como a marítima, e os seus dados são disponibilizados pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Verificaram-se dificuldades na compatibilização da batimetria com a altimetria, uma vez que são referentes à recolha de informação a diferentes escalas e a primeira tem por base o ZH, enquanto que a segunda apresenta valores relativos ao zero topográfico.

Domínio computacional

O sistema de malhas que o SWAN utiliza como fronteira para a execução dos cálculos é retangular e neste caso foram utilizadas três malhas, cujas características são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14. Características principais das malhas de cálculo do modelo SWAN (Neves, 2013)

Malhas	Δx (m)	Δy (m)	Comprimento Total xx (m)	Comprimento Total yy (m)	Número de elementos na direção xx	Número de elementos na direção yy
Main Grid	1000	1000	60000	79000	120	158
Nested Grid	250	250	37500	38000	375	380
Nested Grid_1	100	100	5900	7400	59	74

Caracterização das simulações

O modelo utilizado executou simulações para o intervalo de tempo em estudo (outubro de 2007 a dezembro de 2012), em modo estacionário, i.e, sem condições de fronteira variáveis no tempo. As simulações foram efetuadas com a versão SWAN 40.72, sem considerar a interação com ventos e correntes. Considerou-se ainda:

- O espectro direcional em frequência de 23 intervalos, de 0,04 a 1 Hz, com distribuição logarítmica e uma discretização em direção que cobre 360°, dividida em 90 intervalos. Este espectro é do tipo JONSWAP, que assume os parâmetros obtidos na campanha do Mar do Norte (Hasselmann *et al.*, 1973);
- Um coeficiente de rebentação constante de 0,65 para todo o período;
- Inclusão do fenómeno físico de difração.

Os dados de forçamento do modelo SWAN foram inseridos nas fronteiras oeste, norte e sul de forma a simular a agitação marítima. Os resultados foram obtidos em pontos específicos, e em todo o domínio de cálculo (Neves, 2013).

Os pontos específicos utilizados estão referenciados na Tabela 1, e foram posicionados em frente às praias da Costa da Caparica. O ponto P1 refere-se à Praia de S. João da Caparica, na zona onde não existe estrutura de proteção, mas que tem sofrido vários episódios de destruição. Os pontos P2 a P7 localizam-se nas praias que possuem obras de proteção aderentes.

4.2.2. Análise de Resultados

Os resultados apresentados permitem comparar a altura significativa da onda (H_s), período de pico (T_p) e direção média das ondas (θ) fornecidos pelo modelo WWIII com os resultados obtidos com recurso ao modelo numérico SWAN para os pontos P1 a P7.

Para facilitar a análise dos resultados, neste capítulo serão apresentados os gráficos mais relevantes de H_s e T_p ao largo, e nos pontos P1 e P4. Para os restantes pontos destas variáveis e para θ , são apresentadas apenas tabelas, encontrando-se os gráficos disponíveis no Anexo II.

A escolha dos pontos P1 e P4 deve-se ao facto do primeiro se referir a uma praia sem estrutura de proteção onde ocorrem danos decorrentes do *runup*, e do segundo ser um ponto representativo de uma praia com estrutura, para a qual estão documentados fenómenos de galgamento.

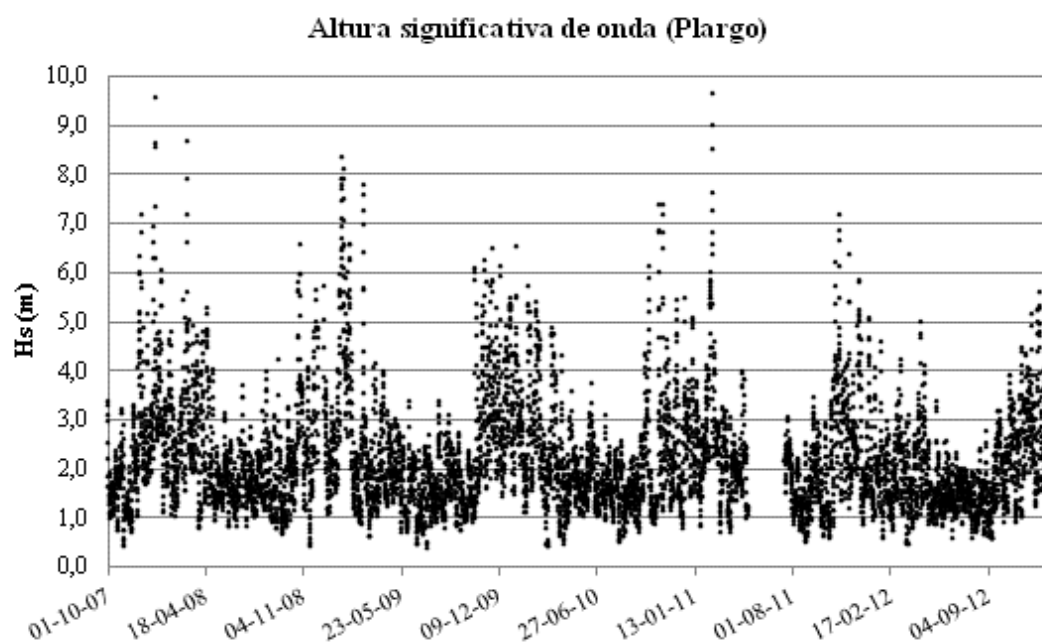


Figura 13. Altura significativa de onda ao largo

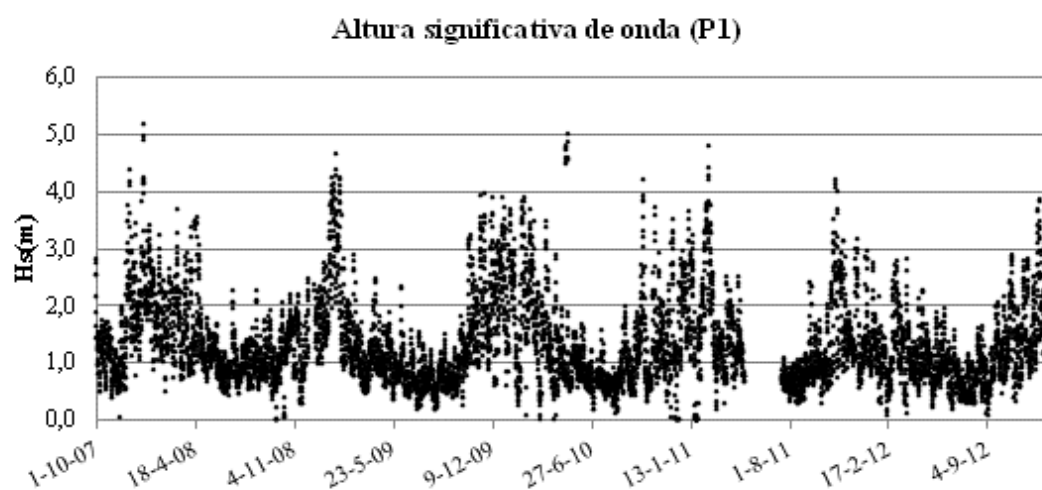


Figura 14. Altura significativa de onda ao largo, no ponto P1

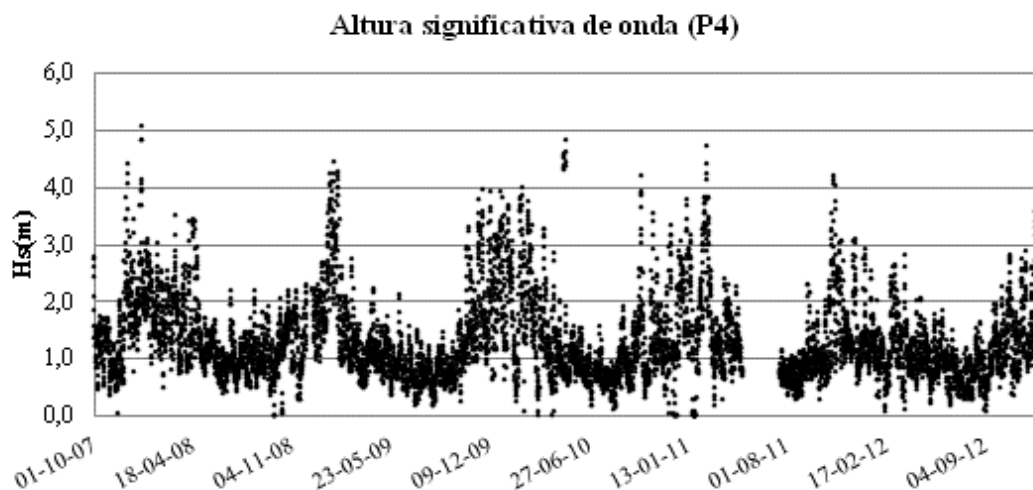


Figura 15. Altura significativa de onda ao largo, no ponto P4

Pela análise das Figuras 13 a 15 pode afirmar-se que existe uma relação temporal entre as variações da altura de onda e os fenómenos meteorológicos associados às estações do ano. Verifica-se que as maiores ondas ocorrem maioritariamente no outono e inverno (de outubro a março). Ao largo, as alturas de onda são mais elevadas, sendo evidente uma maior semelhança entre os valores calculados para cada um dos pontos em estudo.

Na Tabela 15 apresentam-se os valores máximos, médios e mínimos, permitindo uma melhor comparação de valores.

Tabela 15. Análise da altura de onda significativa (H_s) em cada ponto

Ponto	Mínimo (m)	Máximo (m)	Média (m)
Ao largo	0,380	9,603	2,368
P1	0,005	5,185	1,347
P2	0,005	5,099	1,341
P3	0,005	5,106	1,327
P4	0,005	5,070	1,336
P5	0,005	4,959	1,337
P6	0,005	4,856	1,323
P7	0,006	4,181	1,386

Pela observação da tabela constata-se que em todos os pontos os valores calculados pelo SWAN são muito semelhantes, uma vez que se obtiveram sob a mesma batimétrica e porque o fundo apresenta linhas batimétricas paralelas à costa. Em geral, verifica-se uma diminuição do valor máximo de altura de onda, do P1 para o P7.

Relativamente ao período de pico de onda (T_p), apresentado nas Figuras 16 a 18, varia regularmente do largo até à costa.

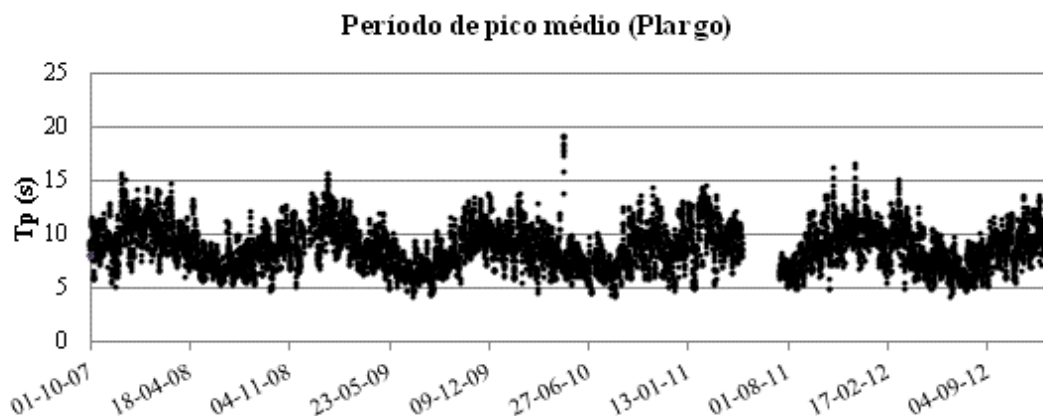


Figura 16. Período de pico médio, ao largo

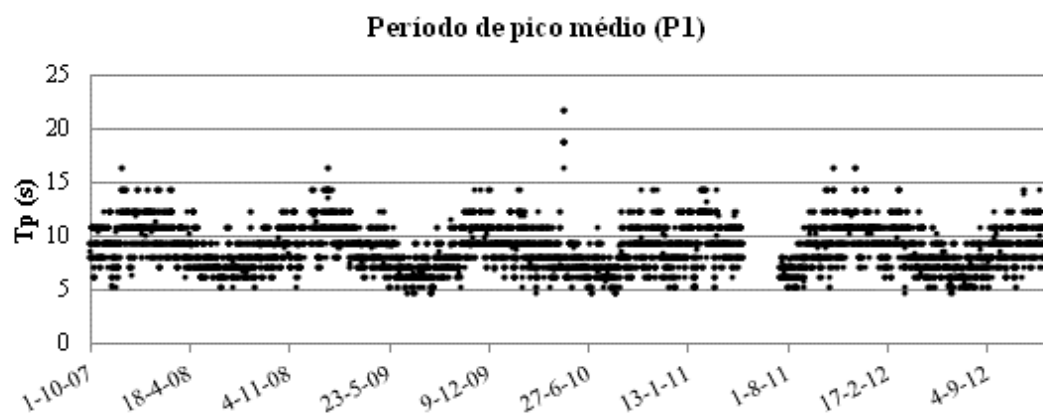


Figura 17. Período de pico médio, no ponto P1

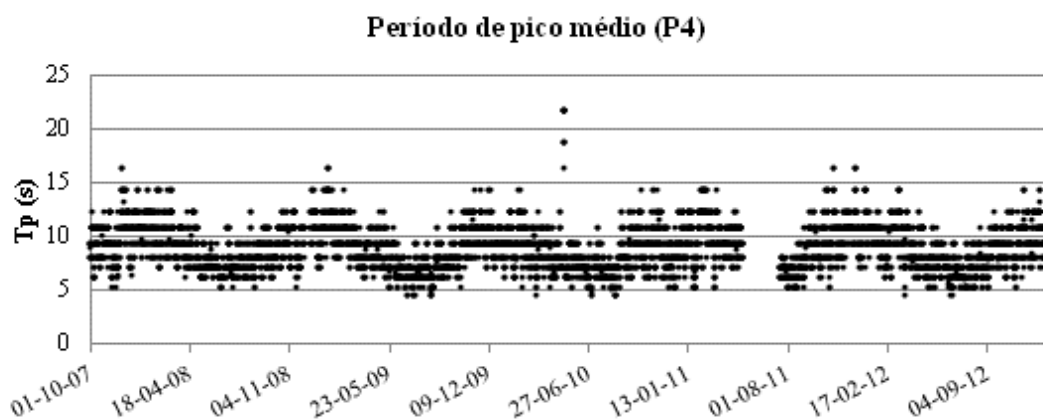


Figura 18. Período de pico médio, no ponto P4

Observando a Tabela 16 verifica-se que T_p é igual em todos os pontos, o que indica que o SWAN não é sensível às variações do período de pico em distâncias tão pequenas quanto a distância entre os pontos P1 a P7. O ponto ao largo, por se encontrar mais distante dos outros e a profundidades maiores, já apresenta um valor diferente do período de pico da onda.

Tabela 16. Análise do período de pico médio (Tp) em cada ponto

	Mínimo (s)	Máximo (s)	Média (s)
Ao largo	4,141	19,194	8,820
P1	4,662	21,735	8,920
P2	4,662	21,735	8,938
P3	4,662	21,735	8,923
P4	4,662	21,735	8,931
P5	4,662	21,735	8,940
P6	4,662	21,735	8,945
P7	4,662	21,735	8,940

Quanto à direção de onda, esta apresenta valores médios de 260°, o que indica que a ondulação incidente provém, na sua maioria de oeste. Como visível nos gráficos do Anexo II os valores mínimos não são representativos.

Tabela 17. Análise da direção de onda, (θ) em cada ponto

	Mínimo (°)	Máximo (°)	Média (°)
Ao largo	1,0	360	306,4
P1	169,3	356,7	259,9
P2	66	347,3	260,3
P3	6	343	261
P4	168	341	260
P5	67,3	327,3	259
P6	168,7	328,7	257,8
P7	167	337	252,5

4.3. Estudo de *runup* e galgamento

4.3.1. Condições de aplicação das fórmulas empíricas para o cálculo do *runup* em praias

Depois de determinadas as fórmulas a utilizar no cálculo do *runup* em praias sem estrutura de proteção, foi utilizado um programa de cálculo, em linguagem *FORTRAN* (Fortes *et al.*, 2013a), apresentado no Anexo III e esquematizado na Figura 20. Este programa permite obter os resultados pretendidos de forma célere. Para efetuar os cálculos são necessários dois ficheiros de entrada:

- “alturas_condicoeslargo”, onde são inseridos os dados referentes a Hs, Tp, θ e Smáx (nível de maré, composto pela soma da maré astronómica mais a sobrelevação). Hs, Tp e θ provêm dos cálculos do SWAN e são específicos para cada ponto. Smáx é proveniente das medições do marégrafo de Cascais.
- “dados_condicoeslargo”, contém o ângulo do perfil de praia e a cota batimétrica a que se encontra o ponto. O parâmetro do ângulo do perfil de praia provém da recolha efetuada a 29 e 30 de abril, dos perfis de praia entre a Cova do Vapor e a Praia da

Rainha. Com os perfis de praia traçados, foi possível determinar o ângulo de cada uma. A cota batimétrica provém da batimetria do SWAN.

Os outputs do FORTRAN são: $R_{1\%}$, $R_{2\%}$, R_s , $R_{\text{máx}}$, $R_{\text{médio}}$ e nível máximo de inundação, calculados pela metodologia de cada um dos autores, e neste caso, com uma periodicidade de 6 em 6 horas, à exceção dos períodos em que há falhas de dados.



Figura 19. Recolha de perfis de praia, ponto nas dunas (Fonte: Susana Silva; 30-04-2014)



Figura 20. Recolha de perfis de praia, ponto no *foreshore* – campanha de 29 e 30 de abril, na Costa da Caparica (Fonte: Susana Silva; 30-04-2014)

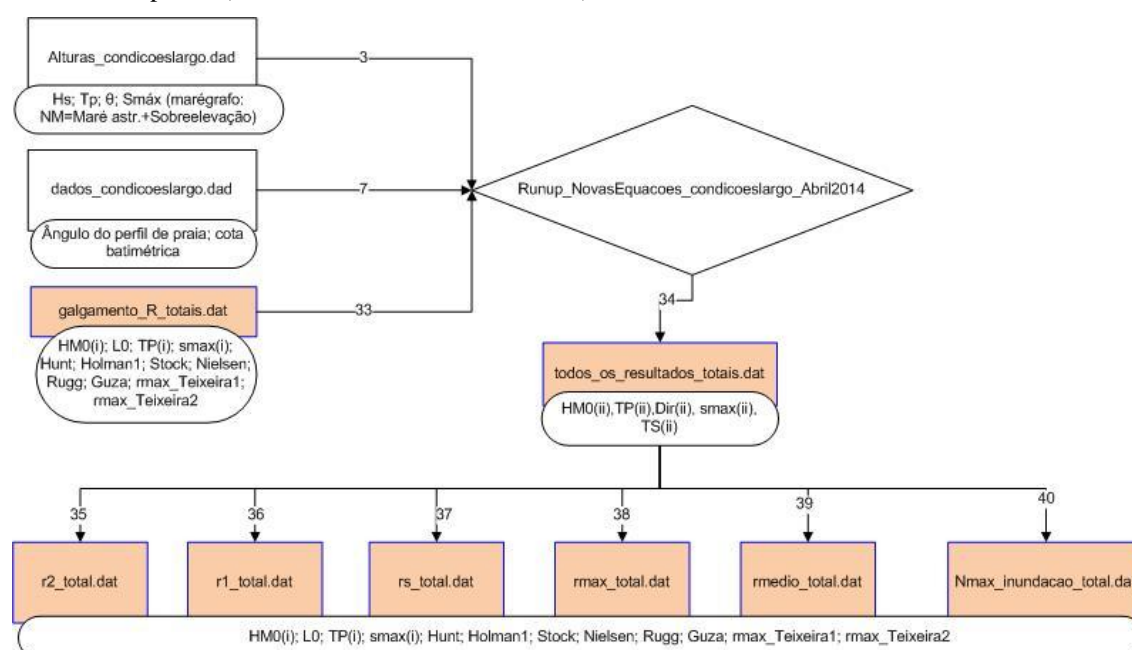


Figura 21. Esquematização dos *inputs* e *outputs* utilizados em FORTRAN para a obtenção do *runup*

Dos resultados obtidos, utilizou-se o nível máximo de inundação para aferir a altura de água na praia de São João da Caparica. Os dados apresentados neste subcapítulo referem-se somente ao ponto P1, pois a formulação utilizada é apropriada para praias naturais, sem estruturas de proteção aderentes.

4.3.2. Análise dos dados de *runup*

São apresentadas nas Figuras 22 a 25 os valores obtidos do nível máximo de inundação para a Praia de S. João da Caparica. Os resultados obtidos, em metros, têm como referência o ZH.

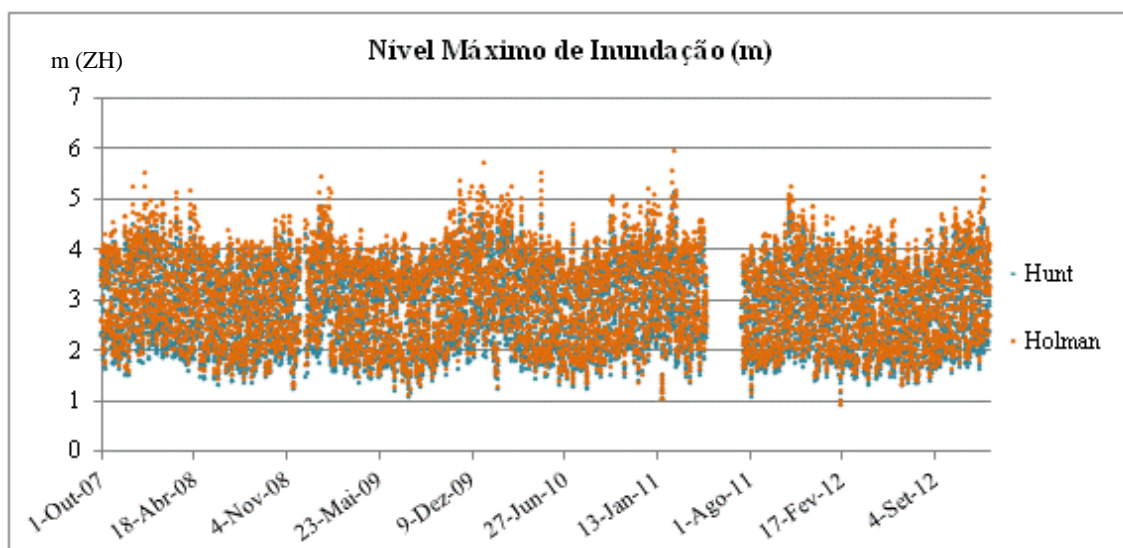


Figura 22. Comparação do nível máximo de inundação, segundo as metodologias de Hunt (1959) e Holman (1986)

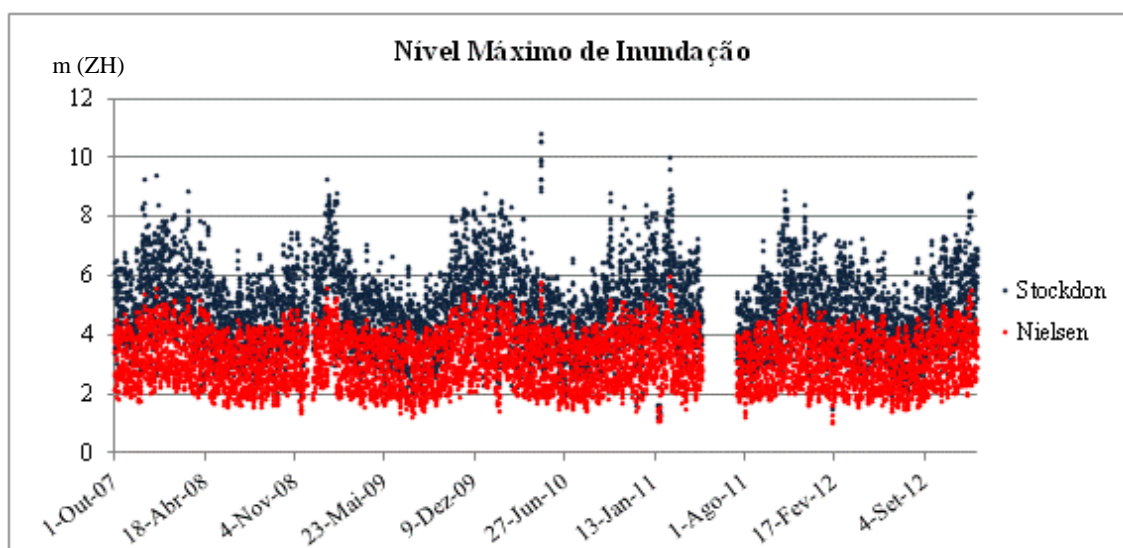


Figura 23. Comparação do nível máximo de inundação, segundo as metodologias de Stockdon *et al.* (2006) e Nielsen e Hanslow (1991)

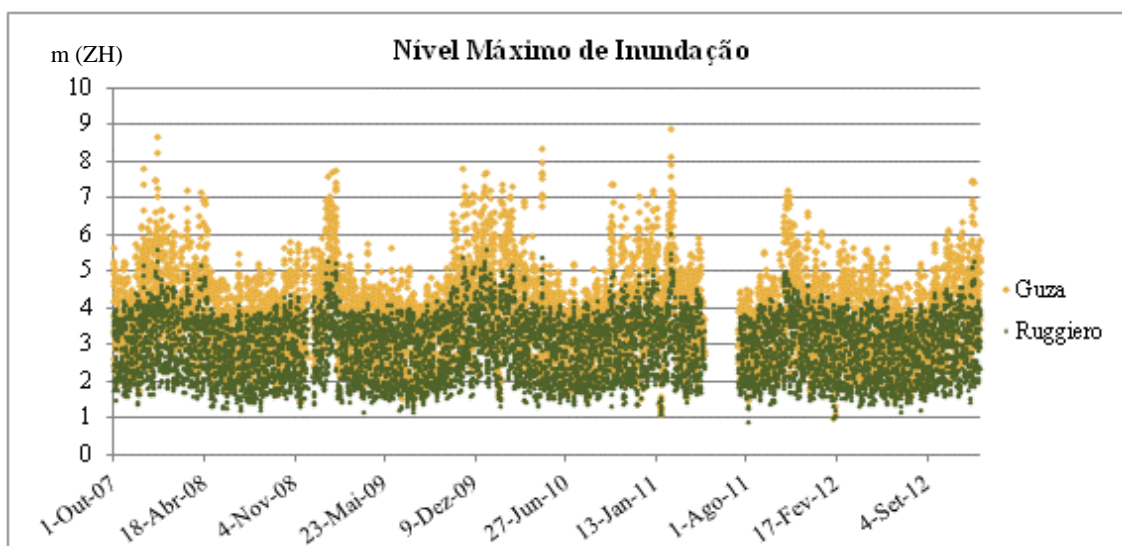


Figura 24. Comparação do nível máximo de inundação, segundo as metodologias de Guza e Thornton (1982) e Ruggiero *et al.* (2001)

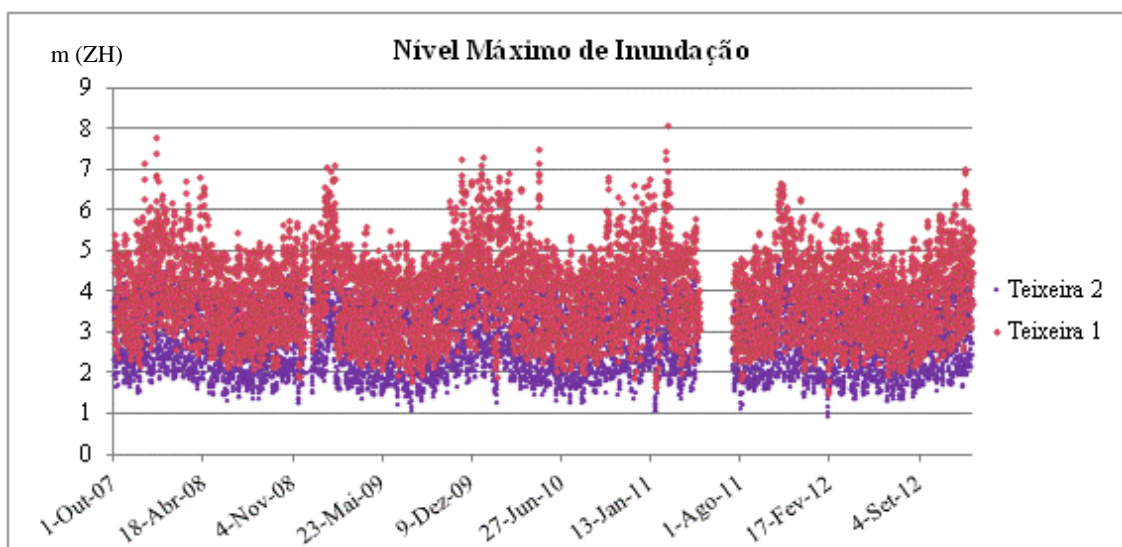


Figura 25. Comparação do nível máximo de inundação, segundo as duas metodologias de Teixeira (2009)

Observando os gráficos das Figuras 22 a 25 é evidente a sazonalidade nos resultados. Esta variação é compreensível uma vez que os períodos de maior agitação se verificam em marés vivas associadas a períodos de inverno. Foi nestes períodos que se verificaram os valores mais elevados de *runup* e por conseguinte maiores danos em bens e estruturas.

A Tabela 18 apresenta a compilação dos valores mais importantes para a análise, possibilitando comparar os resultados obtidos.

Tabela 18. Valores máximos e médios do nível máximo de inundação, em m (ZH), de cada autor

Autores	Máximo (m)	Média(m)
<i>Hunt (1959)</i>	5,148	2,868
<i>Holman (1986)</i>	5,962	3,072
<i>Stockdon et al. (2006)</i>	10,776	4,772
<i>Nielsen e Hanslow (1991)</i>	5,976	3,170
<i>Ruggiero et al. (2001)</i>	5,986	2,871
<i>Guza e Thornton (1982)</i>	8,856	3,764
<i>Teixeira 1 (2009)</i>	8,081	3,955
<i>Teixeira 2 (2009)</i>	5,176	2,883

Observa-se que para o intervalo de dados em estudo todas as equações apresentam valores de nível máximo de inundação entre 5,1 e 10,8m (ZH), sendo o valor mais afastado o de Stockdon *et al.* (2006).

Observando os valores médios, regista-se uma variação menor entre autores, esquadrandose os resultados entre 2,9 e 4,8m (ZH). No entanto, considerando as datas em que cada máximo foi calculado, a maioria dos valores (Holman (1986), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero *et al.* (2001), Guza e Thornton (1982), Teixeira 1 2009), Teixeira 2 (2009)) surgem no dia 17 de Fevereiro de 2011, apesar de não haver registo de estragos na praia de S. João da Caparica. Stockdon *et al.* (2006) tem o seu nível máximo de inundação a 8 de maio de 2010 e Hunt a 5 de janeiro de 2010. Em qualquer destas datas não houve registo de ocorrências na praia em questão. Um dos problemas detetados foi a não existência de dados de agitação marítima quando ocorreram os fenómenos mais graves de agitação.

4.3.3. Condições de aplicação das fórmulas empíricas de *runup*/galgamento em estruturas

Para o cálculo do *runup*/galgamento em estruturas foi utilizada a metodologia de Mase *et al.* (2013), aplicável a estruturas de proteção costeira construídas em terra ou em águas pouco profundas.

A Figura 26 esquematiza a informação utilizada no programa FORTRAN, com base na metodologia de Mase *et al.* (2013) e no trabalho realizado por Fortes *et al.* (2013b). Os dados de agitação introduzidos referem-se a cada um dos pontos na praia (P2 a P7) e não aos dados ao largo pois Mase *et al.* (2013) não especifica a definição de “largo”, interpretando-se que a expressão pode indicar apenas um ponto em águas mais profundas. Neste caso de estudo os pontos considerados ao largo, encontram-se à cota batimétrica 10m (ZH). Os dados de agitação no ponto, tal como para o cálculo do *runup* no subcapítulo anterior, foram calculados com recurso ao software SWAN, que transpõe a informação ao largo para os pontos na praia.

No *input* que se refere à praia e estrutura (“dados_condicoeslargo_Px”), a batimetria é a altura da coluna de água na localização do ponto e provém da batimetria do SWAN. O ângulo do perfil de praia foi calculado com base no perfil de praia recolhido no local, o qual permitiu também saber a cota de coroamento da estrutura.

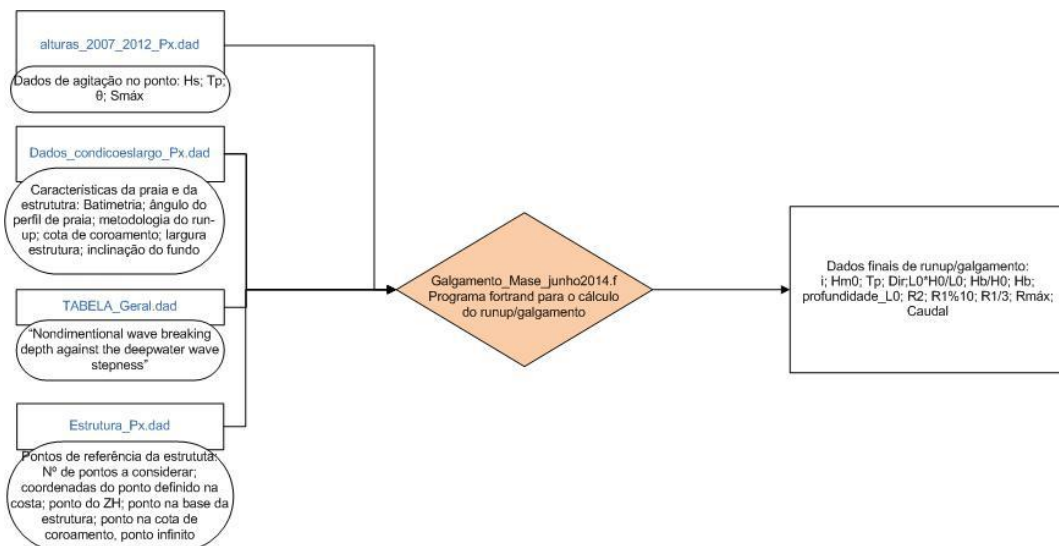


Figura 26. Esquematização dos *inputs* e *outputs* utilizados em FORTRAN para a obtenção do galgamento

Foram também calculados dois parâmetros distintos com o FORTRAN: o *runup* não excedido em 37% dos casos em ensaios com 100 ondas ($R_{\text{máx } 37\%, 100}$) e o *runup* não excedido em 99% dos casos ($R_{\text{máx } 99\%, 100}$) denominados de Método 1 (M1) e Método 2 (M2), respetivamente. Quanto à inclinação do fundo assumiu-se 1:100, sendo o arredondamento do valor do declive de fundo, calculado com a batimetria do SWAN.

Considerou-se a largura da estrutura zero uma vez que as pessoas podem andar em cima da mesma e os bares se encontram perto da berma. Assim é possível calcular o caudal que poderá afetar pessoas e bens diretamente em cima da estrutura.

A rugosidade/permeabilidade do enrocamento (γ_r) foi também considerada zero. Apesar de ser uma estrutura com vazios maioritariamente preenchidos com areia, ao diminuir a permeabilidade verificam-se valores de galgamento mais ajustados à realidade do terreno, o que leva a crer que a permeabilidade da estrutura se aproxima de zero.

Foi introduzida também a tabela que estabelece a relação entre a profundidade de rebentação das ondas e à sua declividade ao largo, para diferentes declives de fundo (1:10; 1:20; 1:30; 1:100).

A informação referente às estruturas de proteção de cada praia foi recolhida no local, nomeadamente a cota da base da estrutura, a cota de coroamento e a largura da berma de coroamento da estrutura (apresentadas no Anexo I). As coordenadas utilizadas no ficheiro “estrutura.dat” referem-se a: ponto na batimetria=10 m (ZH), zero hidrográfico, pé da estrutura, cota de coroamento e um último ponto, mais afastado da estrutura, que permite calcular o declive imaginário, de modo a que R se encontre sempre dentro desta área.

Dos *outputs*, consideraram-se os resultados de $R_{\text{máx}}$ e Caudal médio galgado final.

4.3.4. Análise dos dados de galgamento

Para o cálculo do caudal médio galgado foi utilizada a metodologia desenvolvida por Mase *et al.* (2013), em que é calculado o *runup* em metros e o caudal médio galgado em metros cúbicos (ou litros) por metro linear de estrutura e por segundo. O *runup* calculado pode corresponder ao

valor do *runup* não excedido em 37% dos casos em ensaios com 100 ondas ($R_{m\acute{a}x(37\%,100)}$) assumindo a distribuição de Rayleigh ou *runup* não excedido em 99% dos casos ($R_{m\acute{a}x(99\%,100)}$). Como o objetivo deste estudo é avaliar o risco de inundação, considerou-se que a análise deverá corresponder ao pior caso, logo é considerado o $R_{m\acute{a}x(99\%,100)}$, remetendo-se para o Anexo IV, os gráficos correspondentes ao $R_{m\acute{a}x(37\%,100)}$.

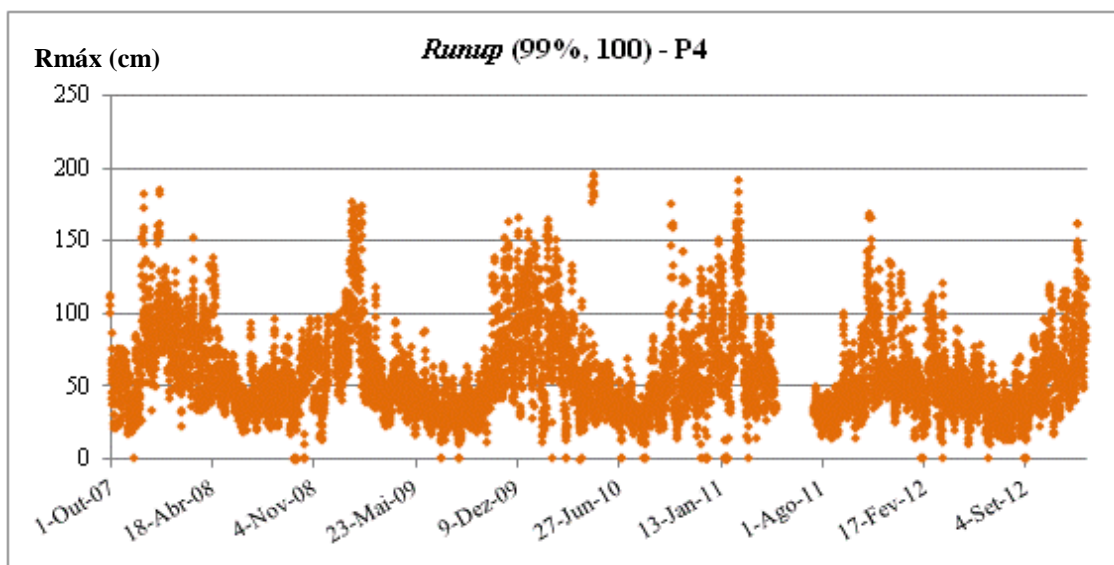


Figura 27. Resultados de *runup* no ponto P4, segundo a metodologia de Mase *et al.* (2013)

Considerando que a praia com estrutura mais afetada pelas intempéries é a do CDS, neste subcapítulo apresentam-se os dados relativos à mesma, correspondentes ao P4. Os gráficos obtidos para as restantes praias (P2, P3, P5, P6 e P7), podem ser consultados no Anexo IV.

Na Figura 26 verifica-se que os valores de *runup* variam entre 0,02cm e 196,5cm, observando-se uma variação sazonal, de acordo com o verificado nas alturas de onda (Figura 15).

Relativamente ao caudal médio galgado (Figura 27), verifica-se uma diferença mais acentuada entre mínimos e máximos, registando-se valores entre 0,0 l/s/m e 17,6l/s/m. Os maiores caudais referem-se aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, sendo coincidentes com os registos de ocorrência de estragos, nomeadamente em janeiro de 2007 e de 2008, quando alguns bares foram parcialmente destruídos, e às marés vivas em março de 2007 e 2008, quando ocorreu rompimento de uma estrutura de proteção na praia de São João e arrastamento de areia das praias.

O caudal máximo galgado refere-se a dia 8 de maio de 2010, contudo não foram encontrados registos de estragos nessa data na Costa da Caparica.

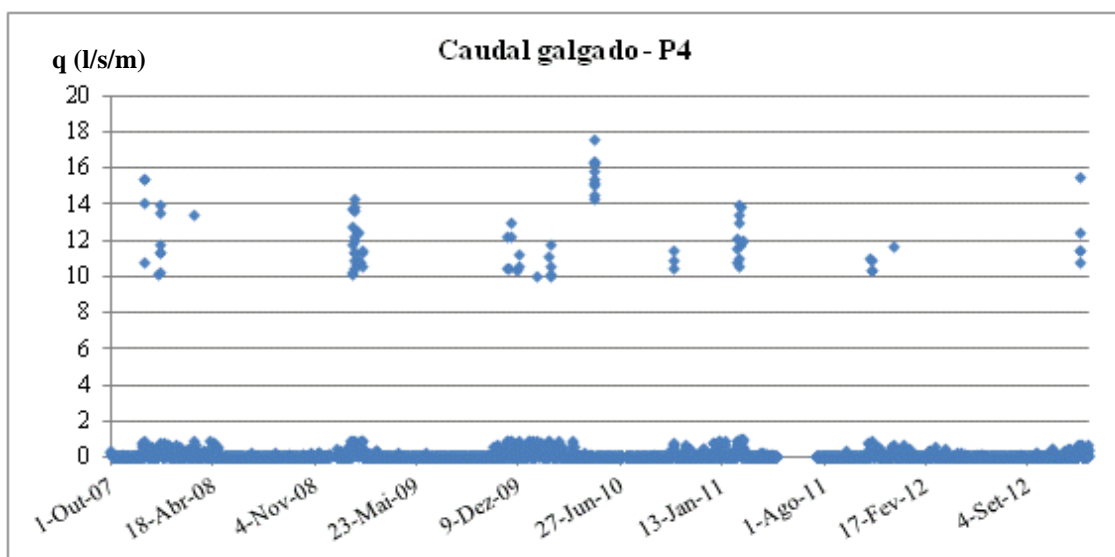


Figura 28. Resultados de caudal médio galgado no P4, segundo a metodologia de Mase *et al.* (2013)

4.4. Avaliação do Risco de Inundação e Galgamento

Neste caso estudo, considerando que existem praias sem e com estrutura de proteção, foi realizada uma avaliação do risco de inundação e galgamento, respetivamente.

Para a avaliação do risco de inundação, assume-se que a cota máxima admissível de inundação na praia de São João da Caparica é de 5,1 m, ocorrendo inundação do cordão dunar se a cota for superior a este valor (Neves, 2013).

Uma vez que o NMI foi calculado com recurso a várias metodologias, para a avaliação do risco efetuou-se uma média de todos os resultados apresentada na Figura 28. Verifica-se que existem 240 valores acima da cota máxima de inundação, calculando-se uma probabilidade de ocorrência de 3%. Segundo a Tabela 6, a esta percentagem associa-se uma grau de 2 de probabilidade de ocorrência, isto é, classifica-se como Raro. Quanto às consequências da inundação, segundo a Tabela 10, atribui-se um grau 5 de consequência pois o local possui estruturas para atividades económicas relevantes (bares e apoios de praia) características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis, de reduzida resistência à degradação (solo arenoso) e áreas ocupadas por habitats com algum interesse ecológico (dunas).

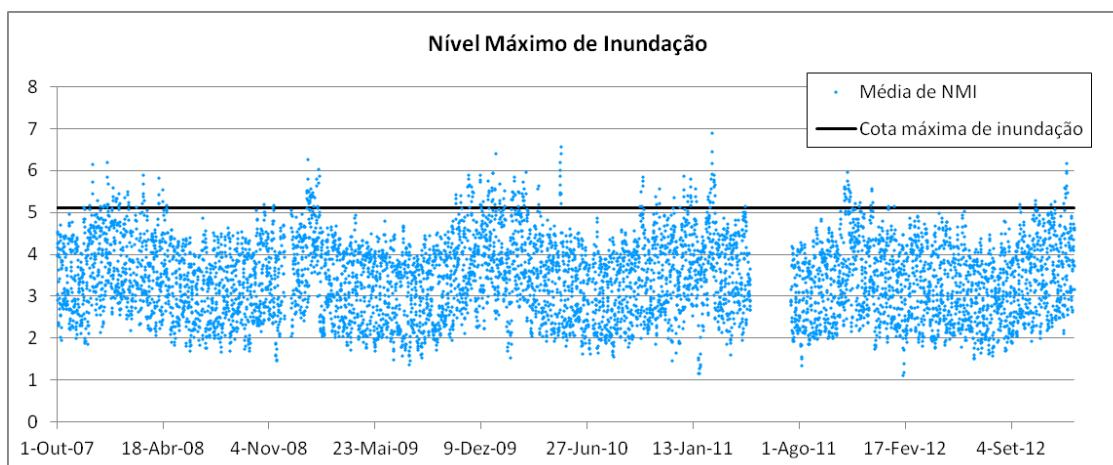


Figura 29. Valores médios do nível máximo de inundação, em m(ZH) de todos os autores

O risco de inundação é dado pela multiplicação do grau de probabilidade de ocorrência – 2 – com o grau de consequências – 5 –, o que perfaz um grau de risco, segundo a Tabela 11, de 10. Este grau é classificado como reduzido, o que significa que pode ser considerado aceitável ou tolerável. Assim é recomendado que se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo e que se esteja preparado para aceitar possíveis danos materiais de pequena dimensão. Esta avaliação da aceitabilidade é apresentada na Tabela 12 (Raposeiro e Ferreira, 2011).

Relativamente ao risco de galgamento, em P4, a estrutura de proteção aderente enquadra-se nas estruturas com talude no tardo, o que significa que, segundo Pullen *et al.* (Tabela 7) o caudal máximo admissível para que não ocorram danos, considerando que o coroamento e o tardo estão bem protegidos, é de 200 l/s/m. Tendo em conta que a praia é bastante frequentada, mesmo no inverno, devido aos bares e restaurantes no local, as pessoas sujeitas às condições do local encontram-se desprevenidas e sem vestuário adequado, podendo ficar facilmente assustadas ou perturbadas com a agitação marítima. Para estes casos é admissível um caudal máximo de galgamento de 0,03 l/s/m (Tabela 8). Para que ocorram danos em edifícios e equipamentos localizados a 5 e a 10 m da estrutura, o caudal máximo admissível é de 1 l/s/m e de 0,4l/s/m, respetivamente. Estes dados encontram-se na Tabela 9. As probabilidades de ocorrência de galgamentos na estrutura, face às condicionantes apresentadas são expostas na Tabela 18.

Tabela 19. Probabilidade de ocorrência de galgamentos em P4

Local	Probabilidade de ocorrência	Grau de ocorrência
Estrutura	11%	3
Pessoas	74%	5
Edifícios	59%	5
Equipamentos	64%	5

Verifica-se que, de acordo com a Tabela 6, para a estrutura de proteção existe a ocasional ocorrência de galgamentos com danos na estrutura, e para pessoas, edifícios e equipamentos os danos causados pelo galgamento são frequentes. Para todas as categorias, considera-se que as consequências são sérias, atingindo o grau 5, uma vez que o local, além da infraestrutura de proteção, possui atividades económicas relevantes (Tabela 10).

Tabela 20. Risco de galgamento em P4 e sua aceitabilidade

Local	Grau de risco	Aceitabilidade do Risco
Estrutura	15	Indesejável
Pessoas	25	Indesejável
Edifícios	25	Indesejável
Equipamentos	25	Indesejável

Pela análise da Tabela 19 verifica-se que existe um risco indesejado do galgamento da estrutura, pelo que este deverá ser evitado. A tomada de decisão deve basear-se numa análise custo-benefício que permita aconselhar a melhor estratégia a adotar, nomeadamente se é económica e socialmente viável manter edifícios e equipamentos nos locais mais fustigados. Por ser um local frágil e de risco indesejável, é aconselhada a monitorização apertada do sistema, de modo a mitigar os danos tanto quanto possível.

A criação do sistema de alerta será assim uma mais-valia na salvaguarda de pessoas e bens que se encontram na zona de risco.

5. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O principal objetivo do presente trabalho foi avaliar o risco de inundação e galgamento de sete praias na Costa da Caparica, concelho de Almada, com recurso à metodologia desenvolvida no projeto HIDRALERTA (Fortes *et al.*, 2013c).

Foi utilizado um conjunto de dados de agitação marítima fornecidos pelo modelo de previsão WAVEWATCH III (Tolman, 1991), para a propagação das ondas do largo até à praia, através do modelo numérico SWAN. As fórmulas empíricas desenvolvidas pelos vários autores são diferentes para praias sem e com estrutura, sendo calculado para as primeiras o *runup* e o nível máximo de inundação, e para as segundas o *runup* e caudal médio galgado.

Para determinar o grau de risco de inundação na Costa da Caparica e a sua aceitabilidade, foram cruzadas as tabelas de probabilidade de ocorrência e grau de consequências.

Dos resultados obtidos da caracterização do regime de agitação, destaca-se a semelhança de altura de onda e período de pico em todas as praias, o que pode ser explicado pela batimetria diminuir paralelamente à costa. A direção de onda é bem modelada pelo SWAN, estando identificada a sua propagação a partir de oeste.

No período em estudo, 2007 a 2012, verificaram-se alguns fenómenos de *runup* e galgamento que provocaram destruição (2007, 2008 e 2011), contudo os resultados obtidos pela aplicação das fórmulas não evidenciaram uma correspondência com as ocorrências documentadas na maioria dos casos.

Relativamente ao cálculo do risco, apesar das limitações inerentes aos resultados obtidos, considera-se que o risco indesejável está de acordo com a realidade do local, pois face à destruição que se tem verificado em situações recorrentes, é necessária uma monitorização contínua e uma análise detalhada do custo-benefício que poderá advir das várias soluções possíveis: quer de proteção do que existe, quer de adaptação às condições adversas ou até mesmo de relocação de bens e estruturas.

A modelação de fenómenos naturais com recurso a modelos numéricos e a fórmulas empíricas é uma forma eficaz e pouco dispendiosa de contornar a dificuldade de recolha de dados *in situ* e a própria ausência de dados. No entanto, é necessário percorrer um longo caminho desde a escolha dos modelos/formulações empíricas até à sua validação, para poder aplicá-los com confiança. Este trabalho representou mais um passo para a obtenção de um modelo passível de ser a base de um sistema de previsão e alerta de inundações na zona costeira.

As conclusões aqui apresentadas devem ser analisadas com cuidado uma vez que a metodologia tem limitações, quer ao nível dos dados (agitação marítima, perfis de praia utilizados), das formulações empíricas consideradas, as quais não foram desenvolvidas para as praias em estudo e a avaliação das consequências, em que se utiliza uma metodologia muito simples.

Os dados de agitação marítima ao largo, bem como a sua propagação até junto à costa, é efetuada com recurso a modelos numéricos, que comparativamente a dados medidos *in situ*, são menos precisos.

Além disso, identificaram-se neste trabalho algumas limitações ao nível dos dados dos perfis de praia utilizados, nomeadamente pelo facto de não se considerar a variação morfológica das praias no período de tempo considerado. No caso do perfil de praia, este depende das condições

de agitação marítima e dos enchimentos de areia que se efetuarem por via artificial. Estas alterações, naturais e antropogénicas, irão refletir-se em parâmetros como o declive do fundo do mar e declive da praia, o que se verificou terem bastante influência nos cálculos de previsão de *runup* e galgamento. No caso do presente estudo, tal não foi efetuado.

Deste modo, o trabalho de monitorização e recolha de dados deveria ser contínuo, ou com uma frequência que permita documentar a evolução do local antes e depois da ocorrência de galgamento. Com dados mais precisos será possível uma melhor calibração dos modelos matemáticos e fórmulas empíricas implementados e, por conseguinte, resultados mais representativos.

Relativamente à escolha dos pontos representativos da área em estudo, recomenda-se que em trabalhos futuros estes sejam definidos após a saída de campo de levantamento dos perfis morfológicos de praia, pois nem sempre é possível recolher informação nos locais planeados devido às limitações do método utilizado. A recolha do perfil é feita pelo transporte da antena até ao local onde se recolhe o ponto pretendido, e por isso está dependente do nível de maré e da agitação. Quanto maior a amplitude da maré, maior o perfil de praia recolhido.

No caso do presente estudo, a escolha dos pontos representativos ocorreu numa fase anterior à recolha dos perfis de praia, o que levou a algum desfasamento entre os perfis recolhidos e o ponto na costa. Apesar de não se considerar o desfasamento significativo, ponderando esta questão poder-se-ão ir eliminando alguns erros metodológicos, que possam influenciar, mesmo que em pequena escala, os resultados finais.

Relativamente à avaliação do risco, sugere-se que as consequências descritas sejam mais específicas para a área de estudo.

Pode optar-se por aplicar a metodologia por praia e por ano, de modo a possibilitar um melhor ajuste dos *inputs* às condições verificadas em cada ano. Uma vez que não existem medições das condições no intervalo de tempo em estudo, assumiu-se que as estruturas não sofreram alterações (pois não há registo de ter ocorrido destruição de nenhuma delas no período em análise), alterando-se somente o perfil de praia e o declive de fundo, uma vez que além da dinâmica sedimentar natural da praia, também ocorreram enchimentos de areia regulares que alteraram a morfologia das praias.

Segundo a pesquisa de ocorrências de galgamentos nas praias da Costa da Caparica, as praias mais a norte são as mais fustigadas por galgamentos, nomeadamente São João da Caparica, onde por várias vezes os bares foram destruídos e o pontão já foi reconstruído.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, F. V. (2010). *O Porto de Lisboa e a Golada, uma visão hidro-oceanográfica*. Ciclo de conferências «O Porto de Lisboa e a Golada do Tejo». Academia de Marinha, Lisboa.
- Afonso, L. C. (2011). *Estudo numérico do galgamento de estruturas de protecção costeira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2012). *Plano de Ação de Proteção e Valorização do Litoral 2012-2015*. Lisboa.
- Ângelo, J. (2012). *Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente ao estuário de Diogo Lopes, Brasil*. Dissertação de Mestrado, IST, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Antunes, O. (2012). *Análise multicritério em SIG para determinação de um índice espacializado de pressão antrópica litoral. Casos de Espinho, Caparica e Faro*. Dissertação de Mestrado, FCSH – Universidade Nova de Lisboa.
- Battjes, J. A. (1970). Een oude golfoploopformule bezien in het licht van moderne theorieën. *Bouw en Waterbouwkunde*, 12, 169-172.
- Battjes, J. A. (1971). Runup Distributions of waves breaking on slopes. *Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division*, 92, 91-114.
- Battjes, J. A. (1974). Surf similarity. *Proc 14th Conf. Coastal Eng.*, ASCE. 466-480.
- Booji, N., Ris, R. C., e Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104, 7649-7666.
- Coeveld, E. M., Van Gent, M. R., e Pozueta, B. (2005). *Neural Network, Manual NN_OVERTOPPING2*. 38. Delft, Netherlands.
- Faria, C. (2009). *Previsão da Agitação na Costa Noroeste Portuguesa - Implementação do SWAN*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.
- Ferreira, J. C. (1999). *Vulnerabilidade e risco biofísico em áreas costeiras. O Arco Litoral Caparica – Espichel*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ferreira, J. C. (2006). Costal Zone Vulnerability and Risk Evaluation. A tool for decision-making (Example in the Caparica Littoral – Portugal) *Journal of Coastal Research*, 39, 1590-1593.
- Ferreira, J. C. e Laranjeira, M. M. (2000). Avaliação da vulnerabilidade e risco biofísico em áreas litorais sob pressão antrópica. Contributo metodológico para uma gestão ambiental. *GeoInova*, FCSH/UNL, Lisboa, 2, 153-170.
- Ferreira, J. C., Silva, L. e Polette, M. (2009). The coastal artificialization process. Impacts and challenges for the sustainable management of the coastal cities of Santa Catarina (Brazil). *Journal of Coastal Research*, 56, 1209-1213.
- Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T. e Neves, P. (2013a). Calcula_Runup_NovasEquacoes_condicoeslargo_1.f. Programa de cálculo do runup e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas, utilizando a linguagem FORTRAN. *Relatório LNEC*, Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., e Neves, P. (2013b). Calcula_Runup_galgamento_Mase.f. Programa de cálculo do runup e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas, utilizando a linguagem FORTRAN. *Relatório LNEC*, Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Poseiro, P., Capitão, R., Sabino, A., Rodrigues, M. C., Raposeiro, P., Ferreira, J. C., Silva, C., Simões, A. e Azevedo, E. B. (2013c). O

- projeto HIDRALERTA - Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. *Proc. 8^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, LNEC, 10-11 de outubro. Lisboa.
- Gomes, F. V. (2009). Costa da Caparica Artificial sand nourishment and costal dynamics. *Journal of Costal Research*, 678- 682.
- Gómez-Gesteira M., Rogers B. D., Crespo A. J. C., Dalrymple R. A., Narayanaswamy M. e Dominguez J. M. (2012). SPHysics – development of a free-surface fluid solver – Part 1: Theory and Formulations. *Computers & Geosciences*, 48, 289-299.
- Guza, R. T. e Thornton, E. B. (1982). Swash oscillations on a natural beach. *Journal of Geophysical Research*, 87 (C1), 483-491.
- Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K. Ewing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W., Walden, H. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deutsches Hydrographisches Institut, Ergänzungsheft*, 8-12, Hamburg
- Holman, R. A. (1986). Extreme Value Statistics for wave Runup on a natural beach. *Coastal Engineering*, 527-544.
- Holman, R. A. e Sallenger, J. A. (1985). Setup and Swash on a Natural Beach. *Journal of Geophysical Research*, 90 (C1), 945-593.
- Hunt, I. A. (1959). Design of seawalls and breakwaters. *Journal of Waterways and Harbours Division*, 85, 123-152.
- IGEO (2013). Obtido em 2013, de Instituto Geográfico Português: http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/redes_geodesicas/rede_mar_egrifica/
- Instituto Hidrográfico (s.d.). Obtido em 2013, de <http://www.hidrografico.pt/previsao-mares.php>
- Iribarren, C. R. e Noagles, C. (1949). Protection des portes. *XVII International Navigation Congress*, Lisbon, SII-1.
- Junta de Freguesia da Costa da Caparica (s.d.). Obtido em 2014: <http://www.costadacaparica.freguesias.pt/>
- Komar, P. D. (1998). The 1997-98 El Niño and erosion on the Oregon coast. *Shore and Beach*, 66, 33-41.
- Komar, P. D. e Enfield, D. B. (1987). Short-term sea-level changes and costal erosion. *Sea-level -Fluctuations and Coastal Evolution*, 41, 17-27.
- Mase, H. (1989). Random wave *runup* height on gentle slope. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 115, 5, 649-661.
- Mase, H. e Kirby, J. T. (1993). Hybrid frequency-domain KdV equation for random wave transformation. *Proc. 23rd Int. Conf. on Coastal Engineering*, ASCE, NY, 474-487.
- Mase, H., Miyahira, A. e Hedges, T. S. (2004). Random wave *runup* on seawalls near shorelines with and without artificial reefs. *Coastal Engineering in Japan*, 46(03), 247-268.
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T. S. e Reis, M. T. (2013). Wave *Runup* and overtoping at seawalls built on land an in very shallow water. *Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering*, 139, 346-357.
- Matias, A., Williams, J., Masselink, G. e Ferreira, O. (2012). Overwash threshold for gravel barriers. *Coastal Engineering*, 63, 43-48.
- Matos, M., Fortes, C., Amaro, V. e Scudelari, A. (2013). Análise Comparativa da Agitação Obtida com o Modelo Numérico (SWAN) na Modelagem de Ondas do Litoral

- Setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e Dados de Campo. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 13, 283-299.
- National Ocean Service (s.d.). Obtido em 2014, de NOAA/NOS: <http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- National Weather Service Environmental Modeling Center (s.d.). Obtido em 2013, de NWS/NOAA: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/wavewatch.shtml>
- Neves, D. R. C. B., Zózimo, A. C., Pinheiro, L. V. e Fortes, C. J. E. M. (2009). GUIOMAR: Geo(graphical) User Interface for Coastal and Marine Modeling. Supported Decision System. *Journal of Coastal Research*, SI56:1542-1546.
- Neves, D. R., Santos, J. A., Reis, M. T., Fortes, C. J., Simões, A., Azevedo, E. B. e Rodrigues, M. C. (2012). Metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas. Aplicação ao porto e à baía da Praia da Vitória, Açores, Portugal. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 12(3), 291- 312.
- Neves, P. (2013). *Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica*. Dissertação de Mestrado, FCTUC, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Neves, P., Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., Reis, T., Capitão, R., Antunes do Carmo, J., Raposeiro, P. e Ferreira, J. C. (2013). Aplicação da Metodologia de Avaliação do Risco de Inundação/Galgamento na Praia de São João da Caparica, *Proc. 8^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, AIPCN/ PIANC, Lisboa.
- Nielsen, P. e Hanslow, D. J. (1991). Wave Runup Distributions on Natural Beaches. *Journal of Coastal Research*, 7, 1139-1152.
- Pinto, C., Silveira, T., Taborda, R., Andrade, C. e Freitas, C. (2012). Morfodinâmica e evolução recente de praias alimentadas artificialmente. O exemplo da Costa da Caparica – Portugal. *VII Simpósio da Margem Ibérica Atlântica, FCT-UNL*.
- Poseiro, P., Capitão, R., Fortes, J., Silva, S. e Ferreira, J. (2014). Relatório do levantamento de perfis morfológicos do sistema praia-duna da Costa da Caparica, entre Cova do Vapor e Ribeira Foz do Rego. *Relatório HIDRALERTA 01/2014*.
- Pullen, T., Allsop, N. W., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H. e Van des Meer, J. (2007). *EurOtop. Wave overtopping of Sea Defenses and Related Structures: Assessment Manual*.
- Raposeiro, P. D. e Ferreira, J. C. (2011). Evaluation of Coastal Flood Risk Areas and Adaption Strategies for a Sustainable Planning, *Journal of Coastal Research*, 64, 1896-1900
- Raposeiro, P. D., Fortes, C. J., Capitão, R., Reis, M. T., Ferreira, J. C., Pereira, M. T. e Guerreiro, J. (2013). Preliminary phases of the Hidralerta System: Assessment of the flood levels at S. João da Caparica beach, Portugal. *Journal of Coastal Research*, 65, 808-813.
- Raposeiro, P. D., Fortes, C. J., Reis, M. T. e Ferreira, J. C. (2010). Análise de Cotas de Inundação na Praia de Vale do Lobo. *10º Congresso da Água, APRH*.
- Raposeiro, P. D., Reis, M. T., Fortes, C. J. e Ferreira, J. C. (2010). Development of a methodology to evaluate the flood risk at the coastal zone. *Geographic Thecnologies Applied to Marine Spatial Planning and Integrated Coastal Zone Management*. Calado, H. e Gil, A. (Eds.), CIGPT, Universidade dos Açores, 129-137.
- Raubenheimer, B. e Guza, R. T. (1996) Observations and predictions of run-up. *Journal of Geophysical Research*, 101, C10, 25575-25587
- Reis, R., Gabriel, S., Fortes, C. J. e Moura, D. (2013). *Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima: Praia da Galé*. LNEC, Lisboa.
- Rocha, M. (2011). *Estruturação de áreas com valor ambiental e paisagístico na AML. Caso de Estudo POLIS Costa da Caparica*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

- Arquitetura com especialização em Gestão Urbanística, Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa.
- Rocha, T. (2012). *Avaliação do Galgamento de Estruturas Portuárias: Aplicação ao Porto da Praia da Vitória, Açores*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- Rocha, P., Ferreira, J. C., Simões, J. e Tenedório, J. A. (2007). Modelling Coastal and Land Use Evolution Patterns through Neural Network and Cellular Automata Integration. *Journal of Coastal Research*, 50, 827-831.
- Ruggiero, P., Komar, P. D., McDougal, W. G., Marra, J. J. e Beach, R. A. (2001). Wave Runup, Extreme Water Levels and the Erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, 17, 407-419.
- Santos, F. e Vargas, C. (2012). *Mapeamento de susceptibilidade do troço costeiro da Cova do Vapor – Fonte da Telha: Inundação por águas marinhas em cenários de alterações climáticas* Mudanças climáticas, costeiras e sociais. Erosões locais, concepções de risco e soluções sustentáveis em Portugal (PTDC/CS-SOC/100376/2008).
- Saville, J. T. (1958). Runup on composite slopes. *Proc. 6th Int. Conf. Coastal Eng.*, 691-699. Gainesville, Florida: ASCE.
- Schwartz, M. L. (2005). Encyclopedia of Coastal Science. 24 Springer, 145-226, Netherlands.
- Silva, D., Fortes, C. J., Reis, M. T., Carmo, J. S., Simões, A. e Rodrigues, C. (2012). Avaliação do Galgamento de Estruturas Portuárias: Porto de Ponta Delgada. *Recursos Hídricos*, 33(2), 37-51.
- Silva, S. A. (2012). *Gestão de Praias da Costa de Caparica, A capacidade de carga, o valor da onda, a segurança e informação*. Dissertação de Mestrado. FCT, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Stewart, R. H. (1980). Ocean wave measurement techniques. *Air Sea Interaction, Instruments and Methods* (eds. Davis, R., Dobson, L. H. F.), 447–470, Plenum Press, New York,.
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A. e Sallenger Jr., A. H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53, 573-588.
- Teixeira, S. B. (2009). *Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve*. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, Faro.
- Tolman, H. (2002). *User Manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22*. NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note.
- Tolman, H. L. (1991) A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents. *Journal of Phys. Oceanogr.*, 21, 782-797.
- Tolman, H. L. (1997). *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15*. NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note.
- Tolman, H. L. (1999). *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18*. NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note.
- Tolman, H. L. (2009). *User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14*. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note.
- U.S. Army Corps of Engineers (2002). *Coastal Engineering Manual*. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C..
- Van der Meer, J. W. e Stam, C. J. (1992). Wave runup on smooth and rock slopes of coastal structures. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 118, 534-550.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris.
- Wright, L. D. e Short, A. D. (1983). Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. *Handbook of Coastal Processes and Erosion*, Florida, 35-64.

ANEXO I – FICHAS DE PRAIA

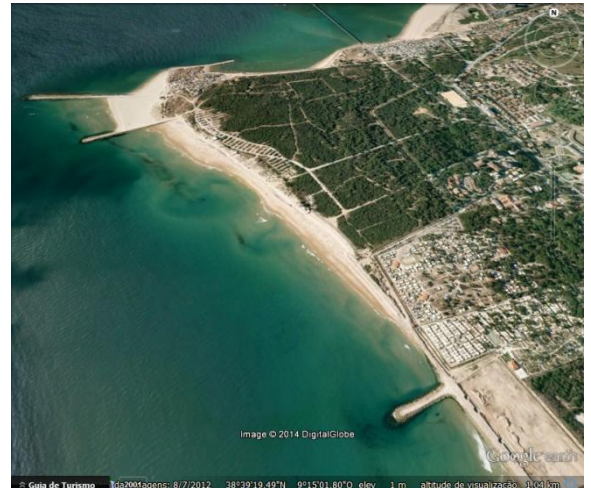
Nome da praia: Praia de S. João da Caparica

Ponto: P1

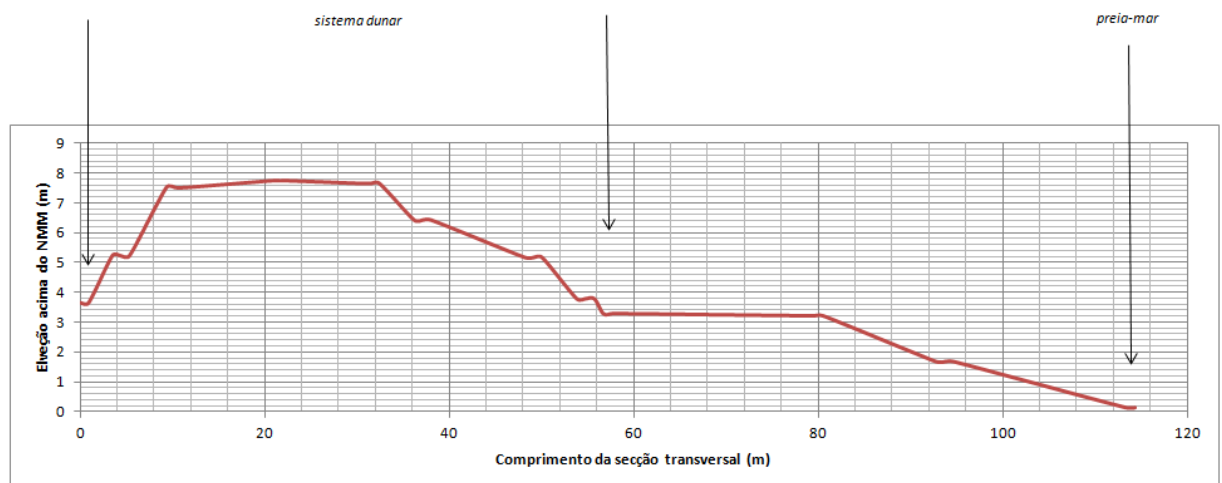
Comprimento: 1425m

Tipo de praia (segundo o POOC): Tipo II - Praia não urbana com uso intenso (praia peri-urbana), afastada de núcleos urbanos mas sujeita a forte procura.

Estrutura de proteção: Possui uma área protegida por dunas e uma parte com estrutura de proteção aderente. Está encaixada entre dois esporões, o mais a norte com 350m de comprimento e o a sul com 150m.



Perfil de praia, recolhido na saída de campo de 29 e 30 de abril de 2014 (adaptado de Poseiro *et al.*, 2014):



Observações:

- Foi construída uma vala de escoamento das águas que protege o parque de campismo.
- Existem vários bares na praia, na zona dunar.
- Já foram efetuados vários enchimentos de areia para evitar a destruição total dos bares da praia e a entrada de água no parque de campismo.
- Estacionamento está mais baixo que a praia e as dunas.
- É comum a duna recuar no inverno, devido ao aumento do *runup*. Mesmo sem a ocorrência de tempestades é frequente o galgamento da estrutura de proteção (a água chega ao estacionamento).
- À data da saída de campo (abril de 2014), em maré baixa o mar chega à base da estrutura de proteção aderente.

Fotografias do local:



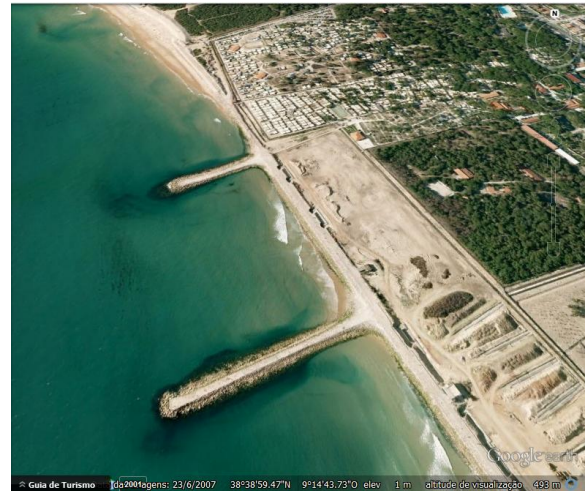
Nome da praia: Praia do Norte

Ponto: P2

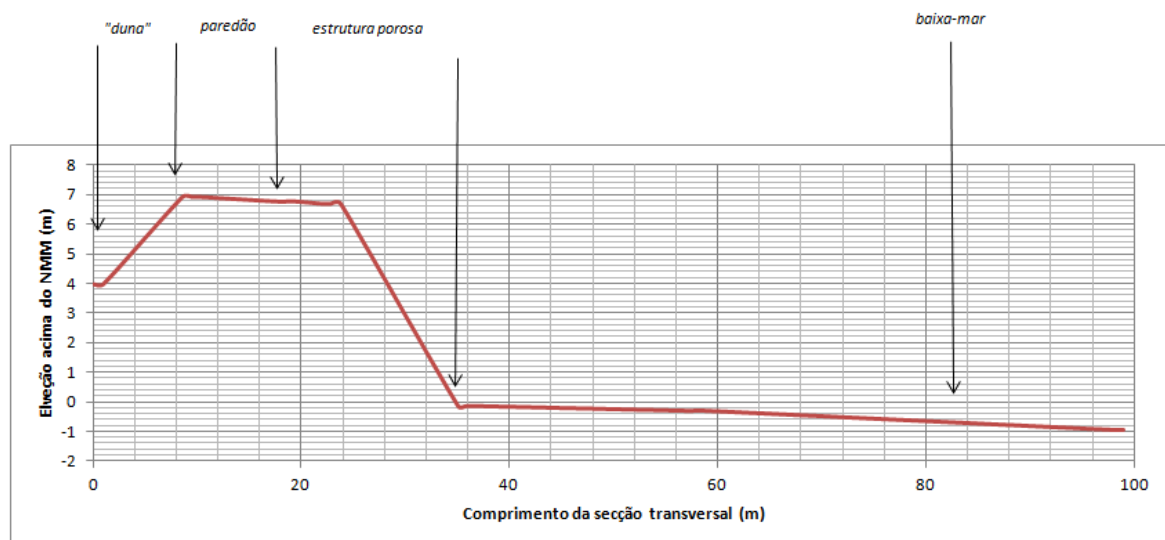
Comprimento: 310m

Tipo de praia (segundo o POOC): Tipo II - Praia não urbana com uso intenso (praia peri-urbana), afastada de núcleos urbanos mas sujeita a forte procura.

Estrutura de proteção: Estrutura de proteção aderente e dois esporões, o mais a norte com 150m de comprimento e o a sul com 260m.



Perfil de praia, recolhido na saída de campo de 29 e 30 de abril de 2014 (adaptado de Poseiro *et al.*, 2014):



Observações:

- O parque de campismo está mais distante da praia do que na praia de S. João da Caparica.
- Apresenta uma vala para drenagem da água que liga à praia anterior.

Fotografias do local:



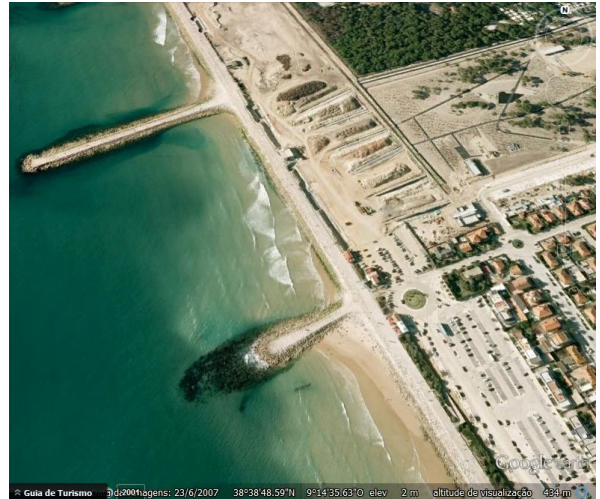
Nome da praia: Praia de Santo António

Ponto: P3

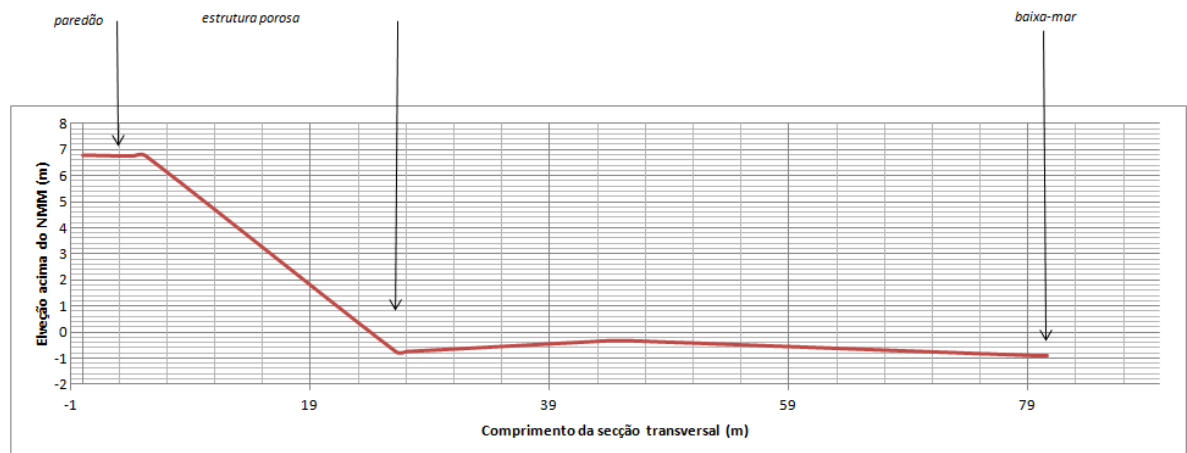
Comprimento: 325m

Tipo de praia (segundo o POOC): Tipo I – Praia urbana com uso intenso (praia urbana), adjacente a um núcleo urbano consolidado, sujeita a forte procura.

Estrutura de proteção: Estrutura de proteção aderente e dois esporões, o mais a norte com 260m de comprimento e o a sul com 180m.



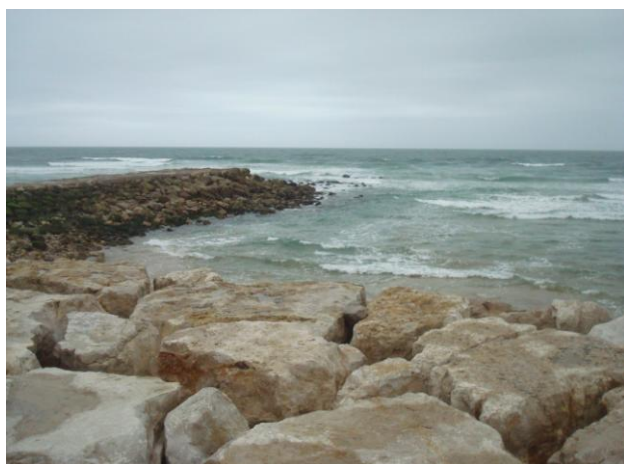
Perfil de praia, recolhido na saída de campo de 29 e 30 de abril de 2014 (adaptado de Poseiro *et al.*, 2014):



Observações:

- Atrás da estrutura de proteção existe uma área sem edificação, onde está o Parque Nacional de Escotismo da Caparica.
- Possui vala de drenagem de água.

Fotografias do local:



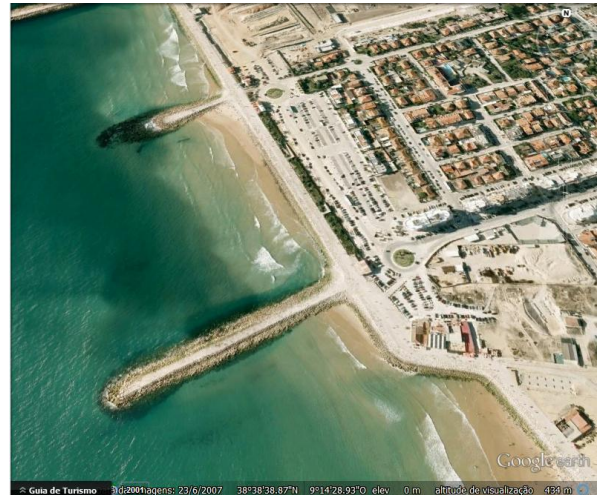
Nome da praia: Praia do CDS

Ponto: P4

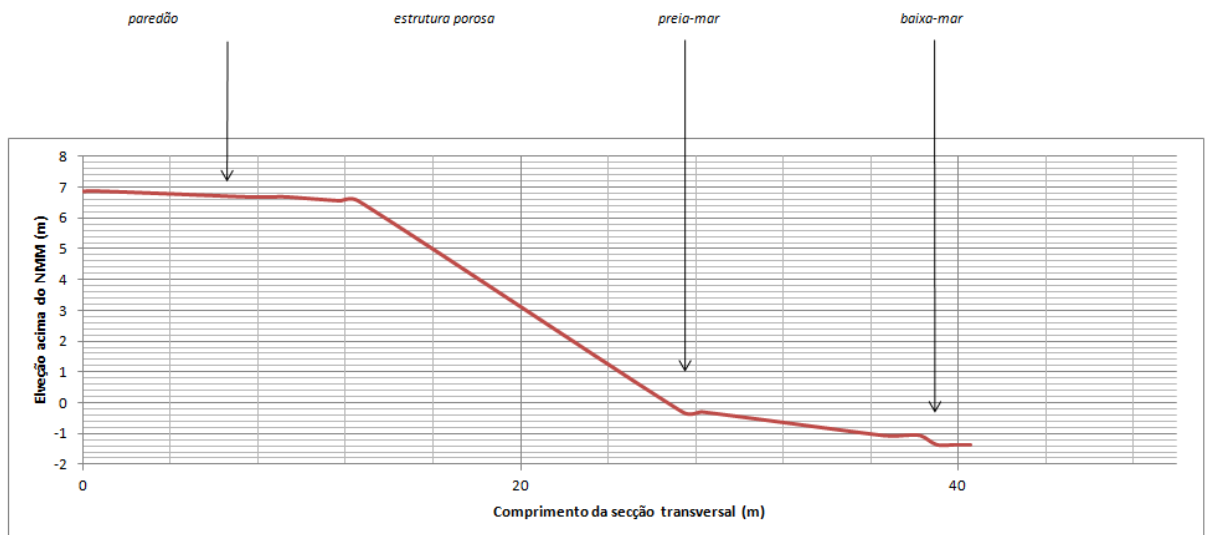
Comprimento: 300m

Tipo de praia (segundo o POOC): Tipo I – Praia urbana com uso intenso (praia urbana), adjacente a um núcleo urbano consolidado, sujeita a forte procura.

Estrutura de proteção: Estrutura de proteção aderente e dois esporões, o mais a norte com 180m de comprimento e o a sul com 240m.



Perfil de praia, recolhido na saída de campo de 29 e 30 de abril de 2014 (adaptado de Poseiro *et al.*, 2014):



Observações:

- Início da parte urbana da Costa da Caparica. Tem um parque de estacionamento contíguo e bares de praia. É uma zona bastante afetada pelos galgamentos e frequentemente os bares sofrem estragos avultados.

Fotografias do local:



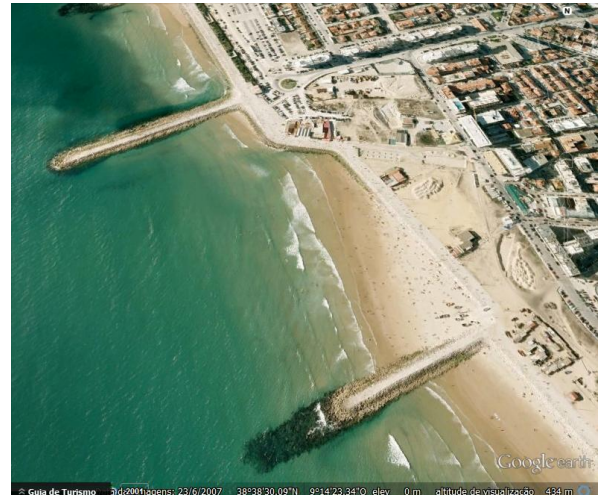
Nome da praia: Traquíneo/Paraíso

Ponto: P5

Comprimento: 400m

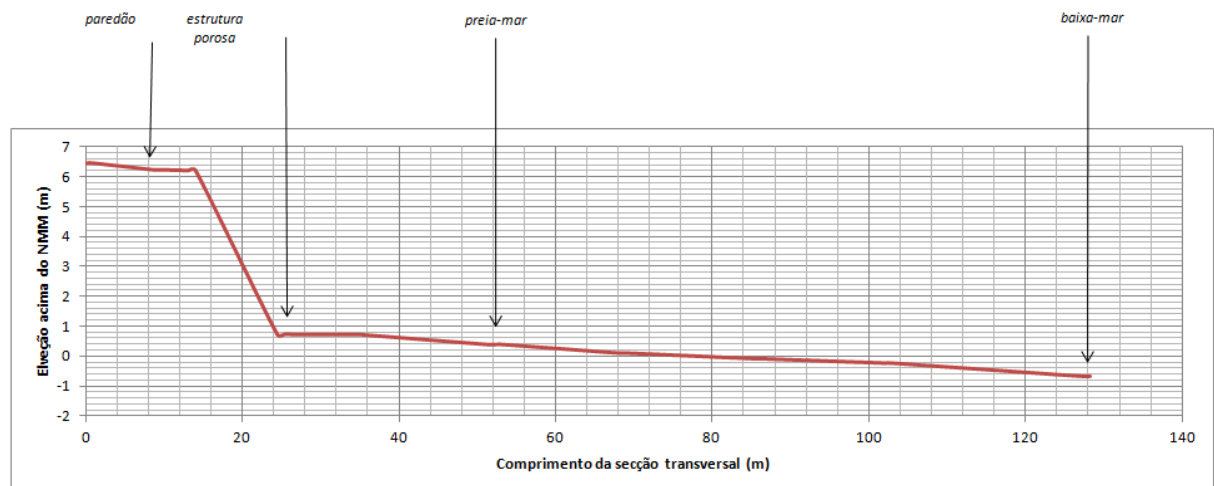
Tipo de praia (segundo o POOC): Tipo I – Praia urbana com uso intenso (praia urbana), adjacente a um núcleo urbano consolidado, sujeita a forte procura.

Estrutura de proteção: Estrutura de proteção aderente e dois esporões, o mais a norte com 240m de comprimento e o a sul com 250m.



A cota de coroamento da estrutura aderente está ao nível do passeio e até à estrada encontra-se uma zona maioritariamente impermeabilizada e com algumas infraestruturas, nomeadamente bares e o Posto de Socorro.

Perfil de praia, recolhido na saída de campo de 29 e 30 de abril de 2014 (adaptado de Poseiro *et al.*, 2014):



Observações:

- Os últimos fenómenos de galgamento, em 2014, causaram alguns danos. É uma zona praticamente plana desde a estrutura de proteção aderente até à estrada, onde começa a zona urbanizada.

Fotografias do local:



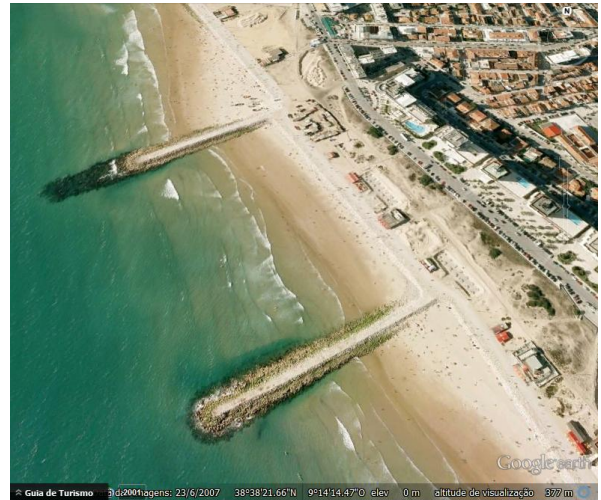
Nome da praia: Dragão Vermelho

Ponto: P6

Comprimento: 260m

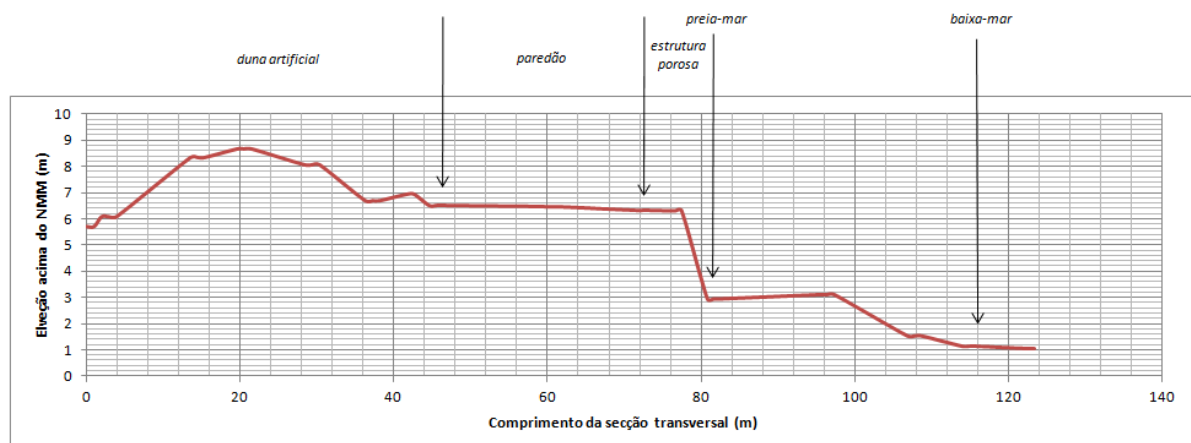
Tipo de praia (segundo o POOC): Tipo I – Praia urbana com uso intenso (praia urbana), adjacente a um núcleo urbano consolidado, sujeita a forte procura.

Estrutura de proteção: Estrutura de proteção aderente e dois esporões, o mais a norte com 200m de comprimento e o a sul com 250m.



O nível de areia está muito próximo da cota de coroamento da estrutura de proteção, e a estrutura encontra-se ao nível do passeio.

Perfil de praia, recolhido na saída de campo de 29 e 30 de abril de 2014 (adaptado de Poseiro *et al.*, 2014):



Observações:

- Depois do passeio, até à estrada encontra-se uma zona com dunas, mais elevada que a estrada e a estrutura de proteção. Existem alguns bares ao longo do passeio.
- Tem uma rampa para o acesso dos pescadores à praia, que facilita a entrada de água no passeio e na zona dunar.
- Nas dunas encontram-se os armazéns dos pescadores.

Fotografias do local:



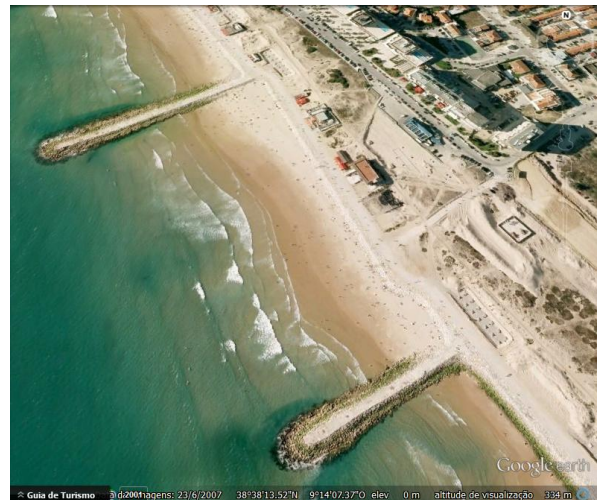
Nome da praia: Praia Nova

Ponto: P7

Comprimento: 320m

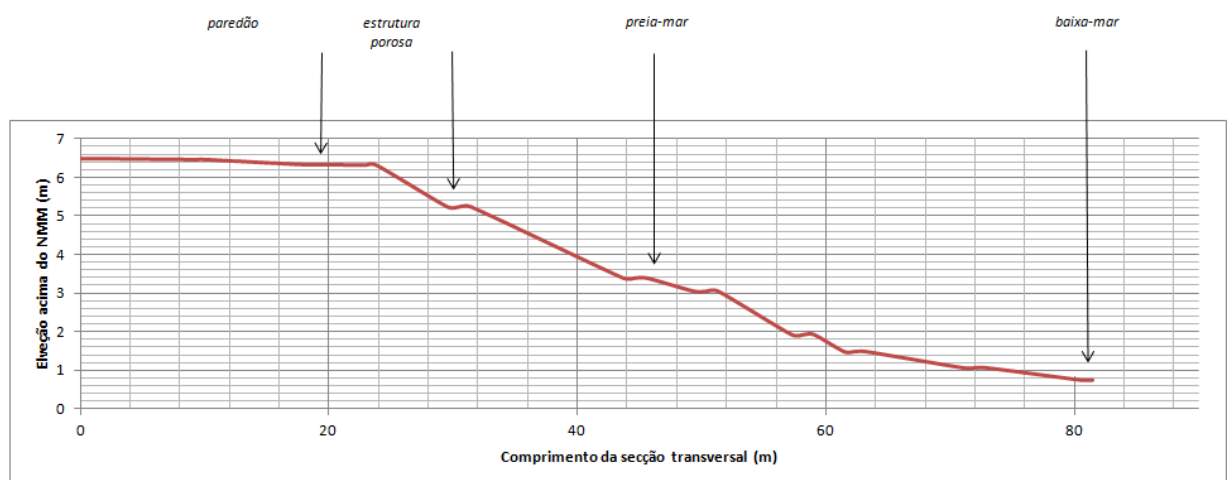
Tipo de praia (segundo o POOC): Tipo I – Praia urbana com uso intenso (praia urbana), adjacente a um núcleo urbano consolidado, sujeita a forte procura.

Estrutura de proteção: Estrutura de proteção aderente e dois esporões, o mais a norte com 200m de comprimento e o a sul com 160m.



O nível de areia está muito próximo da cota de coroamento da estrutura de proteção, e a estrutura encontra-se ao nível do passeio.

Perfil de praia, recolhido na saída de campo de 29 e 30 de abril de 2014 (adaptado de Poseiro *et al.*, 2014):



Observações:

- Entre o paredão e a estrada encontra-se uma zona com dunas, mais elevada que ambos.
- Existem bares ao longo do passeio.

Fotografias do local:



ANEXO II – GRÁFICOS DO SWAN

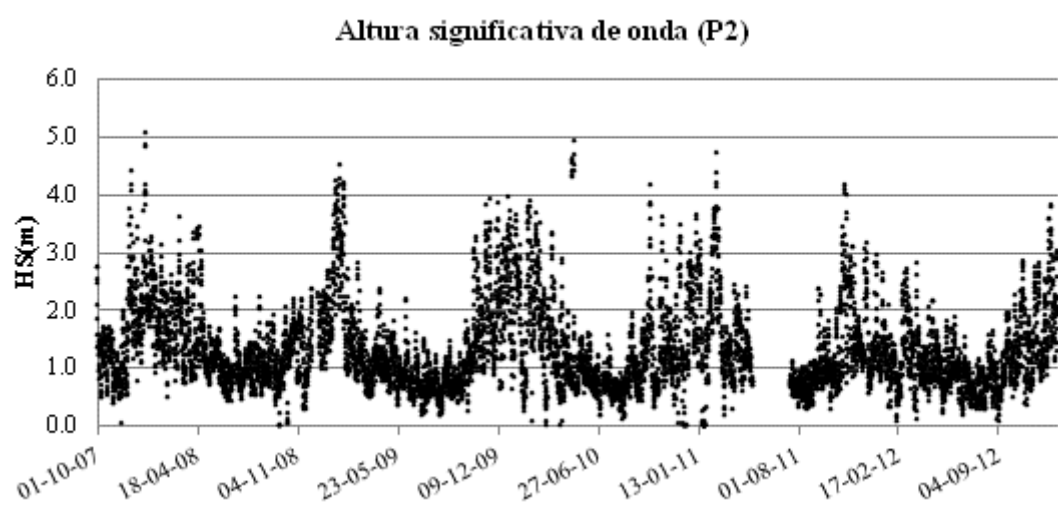


Figura 1 –Altura significativa de onda no ponto P2

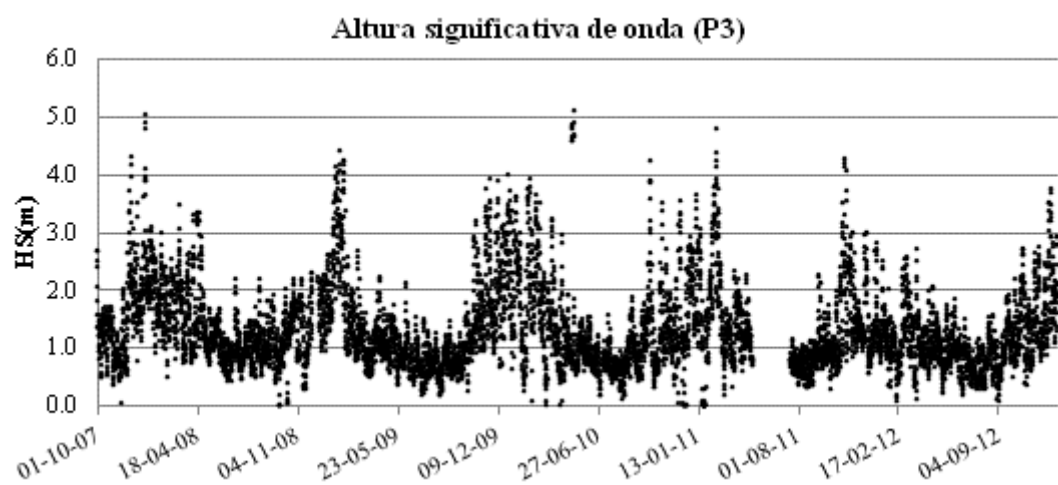


Figura 2 - Altura significativa de onda no ponto P3

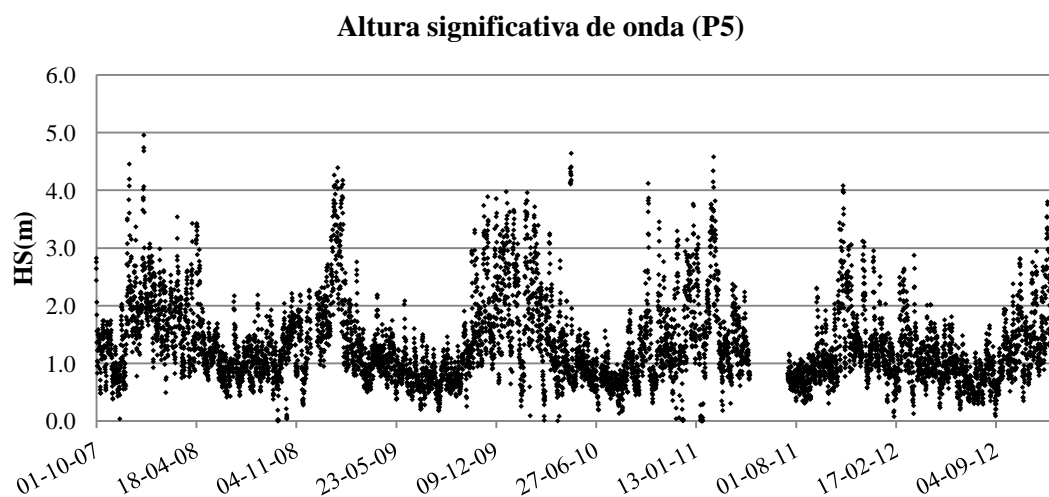


Figura 3 - Altura significativa de onda no ponto P5

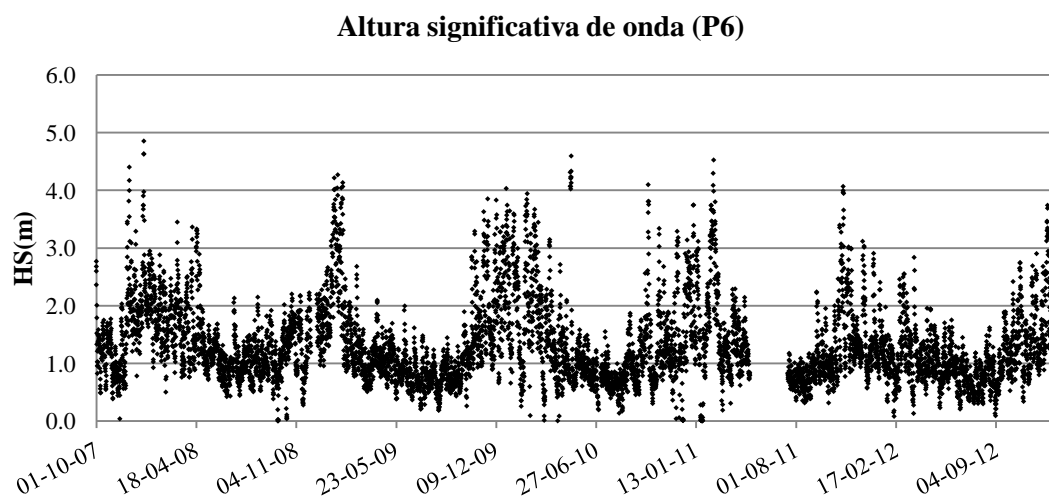


Figura 4 - Altura significativa de onda no ponto P6

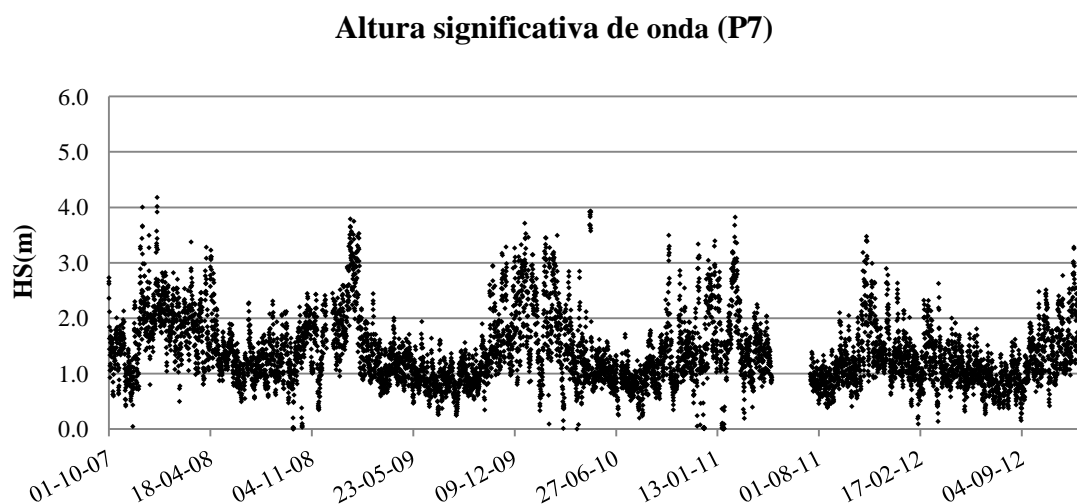


Figura 5 - Altura significativa de onda no ponto P7

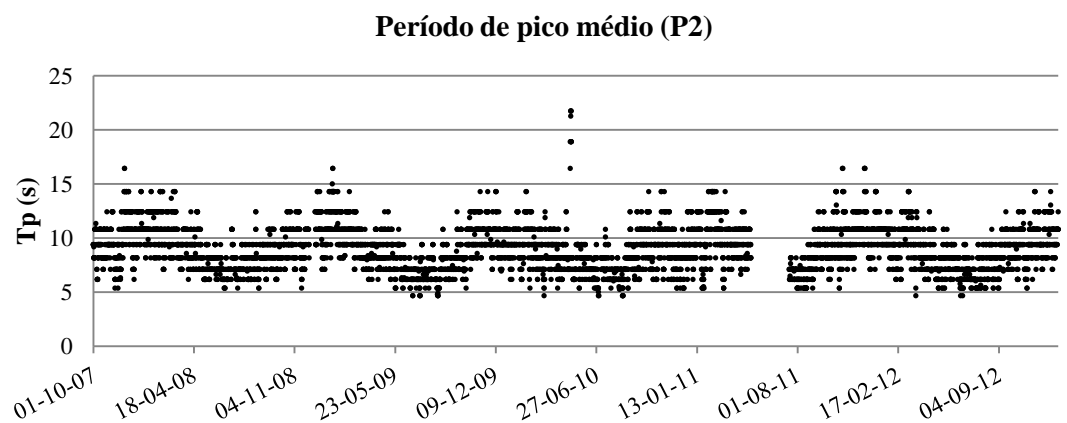


Figura 6 – Período de pico médio no ponto P2

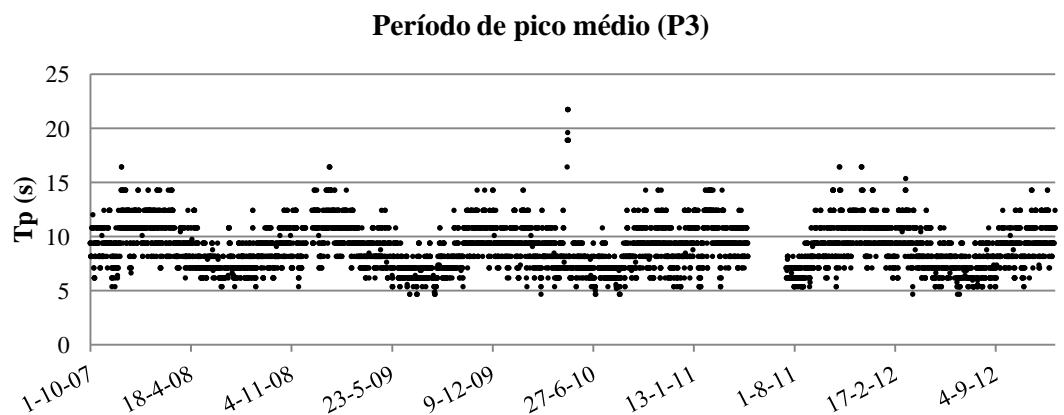


Figura 7 - Período de pico médio no ponto P3

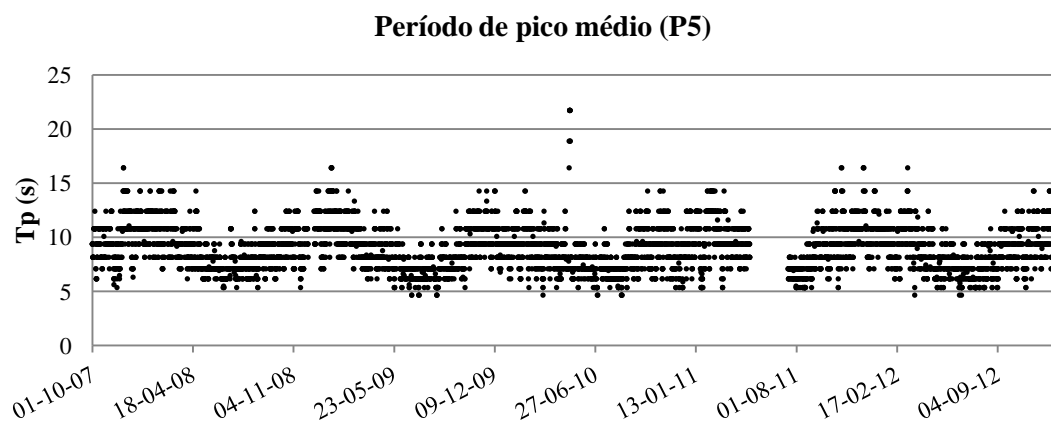


Figura 8 - Período de pico médio no ponto P5

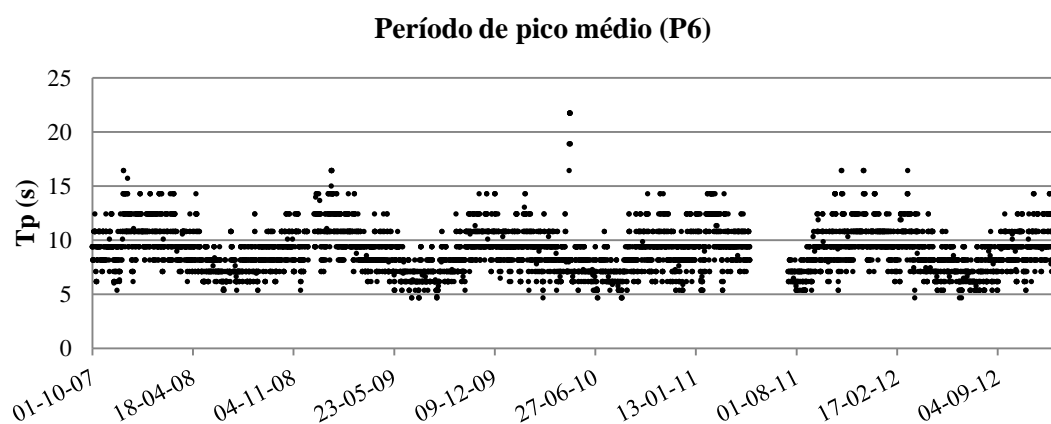


Figura 9 - Período de pico médio no ponto P6

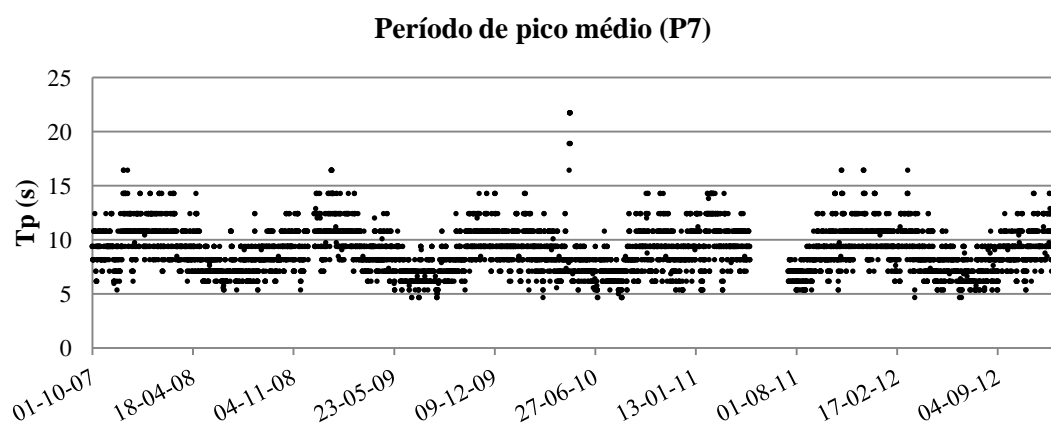


Figura 10 - Período de pico médio no ponto P7

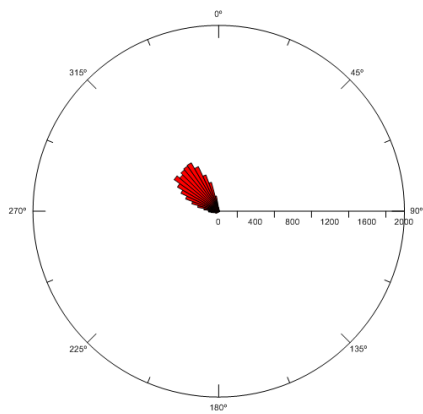


Figura 11 – Direção de onda ao largo

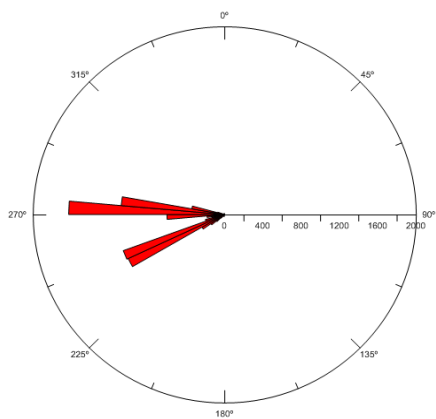


Figura 12 – Direção de onda no ponto P1

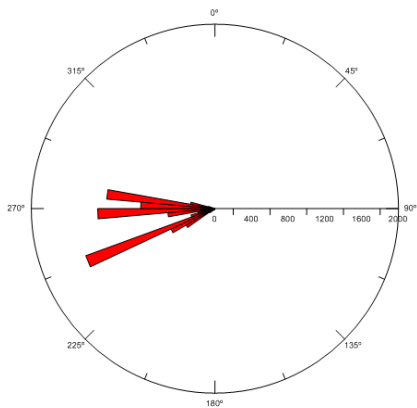


Figura 13 - Direção de onda no ponto P2

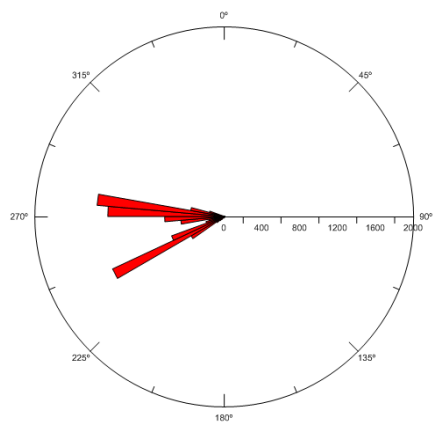


Figura 14 – Direção de onda no ponto P3

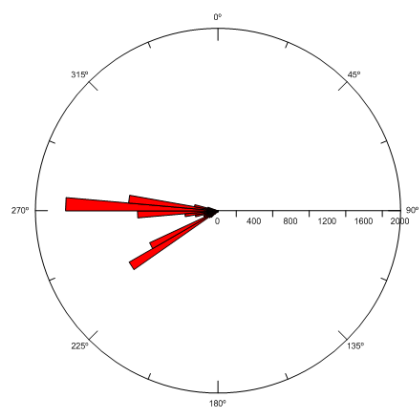


Figura 15 – Direção de onda no ponto P4

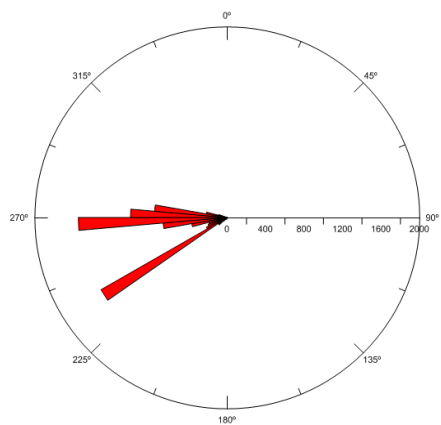


Figura 16 – Direção de onda no ponto P5

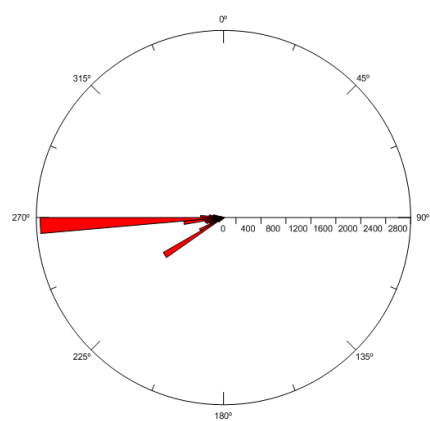


Figura 17 – Direção de onda no ponto P6

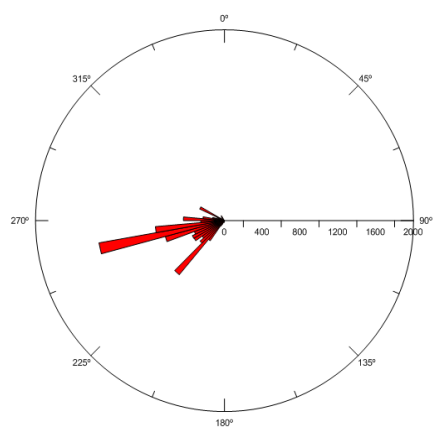


Figura 18 – Direção de onda no ponto P7

Anexo III | PROGRAMAS FORTRAN

1) Programa de Fortran que inclui as fórmulas dos vários autores, para cálculo do *runup* em praias sem estrutura de proteção

program RUNUP_mase

c Juana Fortes, Teresa Reis 31/05/2013
c Calculo dos valores runup para o largo

integer ii

real HM0(365000),HRMS(365000), TP(365000), Dir(365000),TS(365000)
real smax(365000), prof(365000)

real Lzwm_Nielsen, Nmax_inundacao_1,betaf,parametro,profundidade,
*pi,Rmedio,Rrms,R50,R1,R2, Nmax_inundacao_hunt,L0p,L0s,hs,
*Nmax_inundacao_holman1,Nmax_inundacao_teixeira1,
*Nmax_inundacao_teixeira2,Nmax_inundacao_Stock,
*Nmax_inundacao_nielsen, Nmax_inundacao_Rugg,
*Nmax_inundacao_guza, LZWM

open(3,file="Alturas_condicoeslargo.dad")
open(7,file="dados_condicoeslargo.dad")
open(33,file="galgamento_R_totais.dat")
open(34,file="todos_os_resultados_totais.dat")

open(35,file="r2_total.dat")
open(36,file="r1_total.dat")
open(37,file="rs_total.dat")
open(38,file="rmax_total.dat")
open(39,file="rmedio_total.dat")
open(40,file="Nmax_inundacao_total.dat")

write(33,888)

do i=35,40

write(i,888)

888 format (" HM0(i) L0 TP(i) smax(i)
*Hunt Holman1
*Stock Nielsen Rugg Guza rmax_Teixeira1
* rmax_Teixeira2 ")

enddo

pi= 4*atan(1.)
g= 9.81

```

c      Leitura de dados
c      betaf= angulo do perfil de praia (em graus)
c      cota - cota batimétrica ao largo ou antes da rebentação.
c      read(4,*)betaf

      read(7,*)betaf
      read(7,*)cota

      write(34,*)'betaf=',betaf

c      write(*,*)betaf, profundidade

      npontos=0

c      Leitura do ficheiro Alturas.dat
      write(34,*)'HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii), TS(ii)'

      do ii=1,1000000
      read (3,*,END=533)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii)

      TS(ii)=TP(ii)/1.05
      write(34,*)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii), smax(ii),Ts(ii)
      npontos=npontos+1
      enddo

533  write(34,*)'numero de pontos lidos=',npontos

c      Cálculo do HRMS e  $Lo = gts^2/2\pi$ . note-se que o  $ts = tp/1.05$ 

      do I = 1,npontos
      if (HM0(i).eq.0)then
      Lzwm=0
      R2_hunt=0
      R2_holman1=0
      R2_Stock=0
      R2_nielsen=0
      R2_Rugg=0
      R2_guza=0

      R1_hunt=0
      R1_holman1=0
      R1_Stock=0
      R1_nielsen=0
      R1_Rugg=0
      R1_guza=0

      Rs_hunt=0
      Rs_holman1=0
      Rs_Stock=0

```

```

Rs_nielsen=0
Rs_Rugg=0
Rs_guza=0

Rmax_hunt=0
Rmax_holman1=0
Rmax_Stock=0
Rmax_nielsen=0
Rmax_Rugg=0
Rmax_guza=0

Rmed_hunt=0
Rmed_holman1=0
Rmed_Stock=0
Rmed_nielsen=0
Rmed_Rugg=0
Rmed_guza=0

Nmax_inundacao_hunt=Smax(i)
Nmax_inundacao_holman1=Smax(i)
Nmax_inundacao_Stock=Smax(i)
Nmax_inundacao_nielsen=Smax(i)
Nmax_inundacao_Rugg=Smax(i)
Nmax_inundacao_guza=Smax(i)
Nmax_inundacao_Teixeira1=Smax(i)
Nmax_inundacao_Teixeira2=Smax(i)

Rmax_Teixeira1=0
Rmax_Teixeira2=0

go to 666
endif

c    Cálculo do  $L0 = gtp0^2/2\pi$ 
L0p=9.81*TP(i)**2/2/pi
L0s=9.81*TS(i)**2/2/pi
prof(i)=cota+smax(i)

c    write(*,*)'L0p primeiro=', L0p
c    write(*,*)'L0s primeiro=', L0s

call comp_onda(Tp(i),Ts(i),prof(i),L0p,L0s)

c    write(*,*)'L0p final=', L0p
c    write(*,*)'L0s final=', L0s

c    calculo de HS e HRMS com base nos valores ao largo
HS=HM0(i)
c    write(*,*)'Calculo com os valores do largo'

```

```

c      Cálculo do HRMS
      HRMS(i)=Hs/1.416

c      write(*,*)'HRMS (i) antigo=', HRMS (I)

      HRMS(i)=(0.6725+0.2025*(HM0(i)/prof(i)))*HM0(i)
c      write(*,*)'HRMS (i) novo=', HRMS (I)

c      Cálculo do Lzwm

      declive_rad=tan(Betaf*pi/180)

      qsip=(declive_rad/(HM0(i)/L0p)**0.5)
      qsis=(declive_rad/(HM0(i)/L0s)**0.5)

c      calculo da formula de hunt

      ajuda1=      sqrt(HM0(i)/Ts(i)**2)

      write(34,*)'i, HM0(i), TP(i), ts(i), Smax (i), L0p, L0s,
*hs, hrms(i), declive_rad, qsip, qsis, ajuda1'

      write(34,778)i, HM0(i), TP(i), ts(i), Smax (i), L0p, L0s,
*hs, hrms(i), declive_rad, qsip, qsis, ajuda1

c      calculo com o hunt
      if (declive_rad.lt.ajuda1)then
      R2_hunt=declive_rad*(HM0(i)*L0s)**0.5
      else
      R2_hunt=3*HM0(i)
      endif
      Rs_hunt=R2_hunt/1.4
      Rmedio_hunt=0.63*Rs_hunt
      R1_hunt=1.52*Rs_hunt
      Rmax_hunt=R1_hunt
      Nmax_inundacao_hunt=Rmax_hunt+Smax (i)

c      calculo com o holman1
      R2_holman1=HM0(i)*(0.83*qsip+0.2)
      Rs_holman1=R2_holman1/1.4
      Rmedio_holman1=0.63*Rs_holman1
      R1_holman1=1.52*Rs_holman1
      Rmax_holman1=R1_holman1
      Nmax_inundacao_holman1=Rmax_holman1+Smax(i)

c      calculo com Teixeira1
      Rmax_Teixeira1=0.8*HM0(i)+0.62
      R1_Teixeira1=Rmax_Teixeira1
      Rs_Teixeira1=R1_Teixeira1/1.52
      Rmedio_Teixeira1=0.63*Rs_Teixeira1

```

```

R2_Teixeira1=Rs_Teixeira1*1.4
Nmax_inundacao_teixeira1=Rmax_teixeira1+Smax(i)

c    calculo com Teixeira2
Rmax_Teixeira2=1.08*HM0(i)*qsip
R1_Teixeira2=Rmax_Teixeira2
Rs_Teixeira2=R1_Teixeira2/1.52
Rmedio_Teixeira2=0.63*Rs_Teixeira2
R2_Teixeira2=Rs_Teixeira2*1.4
Nmax_inundacao_teixeira2=Rmax_teixeira2+Smax(i)

c    calculo da formula de stockon
if (qsip.gt.0.3)then
  R2_Stock= 1.1*(0.35*declive_rad*(HM0(i)*L0p)**0.5)+ 1.1*
*0.5*((HM0(i)*L0p*(0.563*declive_rad**0.5+0.004))**0.5)
else
  R2_Stock= 0.043*(HM0(i)*L0p)**0.5
endif

Rs_stock=R2_Stock/1.4
Rmedio_stock=0.63*Rs_stock
R1_stock=1.52*Rs_stock
Rmax_stock=R1_stock
Nmax_inundacao_stock=Rmax_stock+Smax(i)

c    calculo de Nielsen
if (declive_rad.ge.0.1)then
  Lzwm= 0.6*(HRMS(i)*L0s)**0.5*declive_rad
else
  Lzwm=0.05*(HRMS(i)*L0s)**0.5
endif

c    write(*,*)'LZWM=',lzw

ajuda=sqrt(-alog(0.02))
c    write(77,*)ajuda

R2_Nielsen=Lzwm*1.98
Rs_Nielsen=1.42*Lzwm
Rmedio_Nielsen=0.89*Lzwm
R1_Nielsen=2.15*Lzwm
Rmax_Nielsen=R1_Nielsen
Nmax_inundacao_nielsen=Rmax_nielsen+Smax(i)

c    calculo da formula de Ruggiero
if (qsip.lt.0.5)then
  R2_Rugg=0.5*HM0(i)-0.22

  if (R2_Rugg.lt.0)then

```

```

R2_Rugg=0
endif

else
R2_Rugg= 0.27*(declive_rad*HM0(i)*L0p)**0.5
endif

Rs_Rugg=R2_Rugg/1.4
Rmedio_Rugg=0.63*Rs_rugg
R1_Rugg=1.52*Rs_Rugg
Rmax_Rugg=R1_Rugg
Nmax_inundacao_rugg=Rmax_rugg+Smax(i)

```

c calculo da formula de Guza

```

Rs_Guza=0.71*HM0(I)+0.035
Rmedio_Guza=0.63*Rs_Guza
R2_Guza=1.4*Rs_Guza
R1_Guza=1.52*Rs_Guza
Rmax_Guza=R1_Guza
Nmax_inundacao_guza=Rmax_guza+Smax(i)

```

```

666 write(35,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i), R2_hunt,R2_holman1,
    *R2_Stock, R2_nielsen, R2_rugg, R2_guza,r2_Teixeira1
    *,r2_Teixeira2

```

```

    write(36,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),R1_hunt,R1_holman1,
    *R1_Stock, R1_nielsen, R1_rugg, R1_guza,r1_Teixeira1
    *,r1_Teixeira2

```

```

    write(37,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rs_hunt,Rs_holman1,
    *Rs_Stock, Rs_nielsen, Rs_rugg, Rs_guza,rs_Teixeira1
    *,rs_Teixeira2

```

```

    write(38,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rmax_hunt,Rmax_holman1,
    *Rmax_Stock, Rmax_nielsen, Rmax_rugg, Rmax_guza,rmax_Teixeira1
    *,rmax_Teixeira2

```

```

    write(39,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Rmedio_hunt,Rmedio_holman1,
    *Rmedio_Stock, Rmedio_nielsen, Rmedio_rugg, Rmedio_guza,
    *rmedio_Teixeira1,rmedio_Teixeira2

```

```

    write(40,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i),Nmax_inundacao_hunt,
    *Nmax_inundacao_holman1,
    *Nmax_inundacao_Stock, Nmax_inundacao_nielsen,Nmax_inundacao_rugg,
    *Nmax_inundacao_guza,Nmax_inundacao_Teixeira1,
    *Nmax_inundacao_Teixeira2

```

```

    write(34,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i), R2_hunt,Rs_hunt,

```

```

*Rmedio_hunt, r1_hunt, rmax_hunt, Nmax_inundacao_hunt

      write(34,777)HM0(i),L0p,TP(i),Smax (i), R2_holman1,Rs_holman1,
      *Rmedio_holman1, r1_holman1, rmax_holman1, Nmax_inundacao_holman1

777 format(16(f12.3,4x))
778 format(i5,18(f12.5,4x))

      enddo

      end

      subroutine comp_onda(Tpp,Tss, profundidade, L0p_novo, L0s_novo)
      real L0p_novo, L0s_novo, Tpp, Tss, profundidade,
      *L0p_antigo, L0s_antigo

      pi=4*atan (1.)

      L0p_antigo=9.81*Tpp**2/2./pi
      L0s_antigo=9.81*Tss**2/2./pi

c      write(*,*)'primeiro antigo',L0p_antigo, L0s_antigo, profundidade,
c      *tpp, tss

333  L0p_novo=9.81*Tpp**2/2./pi*tanh(2*pi*profundidade/L0p_antigo)
      diff=abs(L0p_novo-L0p_antigo)
      if (diff.gt.0.01)then
      L0p_antigo=L0p_novo
      np=np+1
c      write(*,*)' mais um',np, L0p_novo, L0p_antigo
      go to 333
      endif

444  L0s_novo=9.81*Tss**2/2./pi*tanh(2*pi*profundidade/L0s_antigo)
      diff=abs(L0s_novo-L0s_antigo)
      if (diff.gt.0.01)then
      L0s_antigo=L0s_novo
      ns=ns+1
c      write(77,*)' mais um', ns,L0s_novo, L0s_antigo
      go to 444
      endif

c      write(77,*)' final novo', L0p_novo, L0s_novo

      end

```

2) **Programa de Fortran correspondente ao método de Mase *et al.*, para calculo do *runup*/galgamento em praias com estrutura de proteção**

program galgamento estruturas

c Juana Fortes, Teresa Reis 15/08/2014

c Calculo dos valores runup para o largo e junto à costa

integer ii

real Ts(365000),xp(30),yp(30),smax(365000),caudal, prof(365000)

real HM0(365000), TP(365000), Dir(365000),H0L0(4,30),HBH0(4,30)

real Lzwm_Nielsen, Nmax_inundacao_1,betaf,parametro,

*cotabatimetrica,L0,

*pi,Rrms,R1_10,R1_3,R2,Rmax,H0_L0,BOTTOM,HB,cr,caudal_final

open(3,file="Alturas_condicoeslargo.dad")

open(4,file="dados_condicoeslargo.dad")

open(33,file="galgamento_R_totais.dat")

open(34,file="teste.dat")

open(36,file="TABELA.dad")

open(23,file="estrutura.dad")

write(33,888)

c write(34,888)

888 format (" i HM0(i) TP(i) Dir (i)

*L0 H0/L0 HB/H0 HB

*PROF_L0 R2 R1_10 R1_3

*Rmax Caudal Caudal_final")

pi= 4*atan(1.)

g= 9.81

c Leitura de dados

c cotabatimetrica - cota batimetrica (valor em metros, positivo)

c betaf= angulo do perfil de praia (em graus)

C METODO - 1 OU 2

C COTA - COTA DO COROAMENTO DA ESTRUTURA (valor em metros, negativo)

c GC - largura da estrutura

C BOTTOM - INCLINACAO DO FUNDO 1:20

c gamaf - gamaf (que é 0.5)

read(4,*)cotabatimetrica

read(4,*)betaf

read(4,*)metodo


```

read(4,*)cota
read(4,*)GC
READ(4,*)BOTTOM
read(4,*)gamaf

write(34,*)' '
write(34,*)' cotabatimetrica betaf,METODO, COTA da Estrutura,
*BOTTOM, gamaf'
write(34,*) cotabatimetrica, betaf,METODO,cota,BOTTOM, gamaf

write(*,*)' cotabatimetrica betaf,METODO, COTA da Estrutura,
*BOTTOM, gamaf'
write(*,*) cotabatimetrica, betaf,METODO,cota,BOTTOM, gamaf
write(34,*)' '
npontos=0
c os valores de smax são valores positivos

write(34,*)'Agitação: HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)'

c Leitura do ficheiro alturas.dat
do ii=1,1000000
read (3,*,END=533)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)

write(*,*)HM0(ii),TP(ii),Dir(ii),smax(ii)

npontos=npontos+1
enddo

533 write(34,*)' '

write(*,*)'npontos=',npontos

c Leitura da tabela H0/L0 versus HB/L0
write(34,*)' '
WRITE(34,*)"Tabela: H0L0(i,j),HBH0(i,J)"

do j=1,15
read(36,*)((H0L0(I,J),HBH0(i,j)),i=1,4)
WRITE(34,7878)((H0L0(i,J),HBH0(i,J)),i=1,4)
enddo
7878 format(8f12.4)
write(34,*)' '

c write(*,*)'npontos1=',npontos

c Leitura da estrutura
write(34,*)'Características da estrutura: xp(i),yp(i) (valor positivo
*abaixo do nível de água, valor negativo acima do nível de água)'

read(23,*)np

```

```

do i=1,np
read(23,*)xp(i),aaa
yp(i)=-aaa
write(34,*)xp(i),yp(i)
enddo

c      write(*,*)'npontos2=',npontos

c      Inicialização

do I = 1,npontos
write(34,*)' '
write(34,*)' '
write(34,*)' '
write(34,*)' '

write(34,*)'*****'
write(34,*)'CONDIÇÃO DE AGITAÇÃO=', I
write(34,*)'*****'

if (HM0(i).eq.0)then
R2=0
R1_10=0
R1_3=0
endif

c      Cálculo do  $L0=gtp0^2/2\pi$ 
TS(i)=TP(i)/1.05
L0=9.81*Ts(i)**2/2/pi
prof(i)=cotabatimetrica+smax(i)

c      calculo de HS e HRMS com base nos valores ao largo
HS=HM0(i)

c      condições de aplicabilidade
declive=tan(Betaf*pi/180)
H0_L0=HM0(i)/L0
PROF_L0=(cotabatimetrica+smax(i))/L0

c      Cálculo do R2%, R1/10 e R1/3
write(34,*)' '
Write(34,*)'HM0(i),TP(i),Dir(i),HS,TS(I),L0,H0/L0, PROF/L0, DECLIVE'
Write(34,343)HM0(i),TP(i),Dir(i), HS,TS(I),L0,H0_L0, PROF_L0, DECLIVE
343 format(10f12.4)
WRITE(34,*)' '

c      write(*,*)'npontos4=',npontos

WRITE(34,*)' '

```

```

        write(34,*)'*****Calculo de R2*****1'
        call calculo_hb(R2,BETAF,HM0(I),L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,prof(i),
*xp,yp,np,1, valor_HBH0,HB)
        WRITE(34,*)' '
        WRITE(34,*)' '
        WRITE(34,*)' '

c      write(*,*)'npontos5=',npontos

        write(34,*)'*****Calculo de R1_10*****3'
        call calculo_hb(R1_10,BETAF,HM0(I),L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,prof(i),
*xp,yp,np,3, valor_HBH0,HB)
        WRITE(34,*)' '
        WRITE(34,*)' '
        WRITE(34,*)' '

c      write(*,*)'npontos6=',npontos

        write(34,*)'*****Calculo de R1_3***** 2'
        call calculo_hb(R1_3,BETAF,HM0(I),L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,prof(i),
*xp,yp,np,2, valor_HBH0,HB)
        WRITE(34,*)' '
        WRITE(34,*)' '
        WRITE(34,*)' '

c      write(*,*)'npontos7=',npontos

        Write(34,*)' i,HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0, valor_HBH0,HB,PROF_L0,
*r2,r1_10,r1_3'
        Write(34,779)i,HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0,valor_HBH0,HB,PROF_L0,
*r2,r1_10,r1_3
779 format(i4,16(f12.4,3x))
        WRITE(34,*)' '

C      Metodo 1
c      calculo de rmax, rc e caudal

      IF (METODO.EQ.1)THEN

      RMAX=1.09*R2
      RC=COTA+prof(I)

      write(34,*)'rmax, rc=', rmax, rc

c      estrutura de enrocamento: gama(f)=0.5

      RMAX=RMAX*gamaf

      IF (RC.GT.0 .AND. RC.LT.RMAX)THEN
      CAUDAL= sqrt(9.81*HM0(i)**3)*(0.018*(RMAX/HM0(I))**1.5

```

```

**((1-(RC/HM0(i))/(RMAX/HM0(i)))**3.2)
ELSE
CAUDAL=0
ENDIF

CR=3.06*exp(-1.5*GC/HM0(i))
IF (CR.GT.1 .OR. GC/HM0(I).LT.0.75)CR=1

CAUDAL_FINAL=CAUDAL*CR
write(34,*)'estou aqui no metodo 1 e o Rmax, RC e caudal,
*CR,caudal_final são:'
write(34,*)rmax, rc, caudal,CR,CAUDAL_FINAL

ELSE

```

```

C    Metodo 2
      Rmax=1.54*R2
      RC=COTA+prof(I)
      write(34,*)'estou aqui metodo 2 e o Rmax e o RC é',
*rmax, rc,prof(i),cota

      write(34,*)rmax

```

```

c    estrutura de enrrocamento: gama(f)=0.5

      RMAX=RMAX*gama f

      IF (RC.gt.0 .AND. RC.Lt.RMAX)THEN
        Caudal= sqrt(9.81*HM0(I)**3)*(0.018*(RMAX/HM0(I))**1.5
**((1-(RC/HM0(I))/(RMAX/HM0(I)))**6.24)
      ELSE
        CAUDAL=0
      ENDIF

      CR=3.06*exp(-1.5*GC/HM0(i))
      IF (CR.GT.1 .OR. GC/HM0(I).LT.0.75)CR=1
      CAUDAL_FINAL=CAUDAL*CR

      write(34,*)'estou aqui no metodo 2 e o Rmax, RC,caudal,
*CR,caudal_final são:'
      write(34,*)rmax, rc, caudal,CR,CAUDAL_FINAL

      ENDIF
      write(34,*)' '
      write(34,*)'Valores finais para condicao=' ,i,r2,r1_10,r1_3,rmax,
*caudal, caudal_final'
      write(34,777)i,r2,r1_10,r1_3,rmax,caudal, caudal_final

```

```

        write(33,777)i,HM0(i),TP(i),Dir(i),L0,H0_L0, valor_HBH0,HB,PROF_L0,
        *r2,r1_10,r1_3,rmax,Caudal,Caudal_final
777 format(i5,27(f12.4,4x))

c      WRITE(*,*)'ESTOU NA CONDICAO DE AGITACAO=',I

        enddo

        end

        subroutine calculo_hb(R,betaf,H0,L0,H0L0,HBH0,BOTTOM,XNIVELMARE,
        *xp,yp,np,ntipo,valor_HBH0,HB)

c      Cálculo do R2%, R1/10 e R1/3

        real H0L0(4,30),HBH0(4,30), L0, H0,xp(30),yp(30),hb, inicio,fim

        NPO=0
        pi=4*atan(1.)

        write(34,*)'h0=',h0
        write(34,*)'xnivelmare=',xnivelmare

        DECLIVE=tan(Betaf*pi/180)

c      write(*,*)'npontos7=',npontos

C      do i=1,np
c      write(34,*)xp(i),yp(i)
C      enddo

        if(BOTTOM.eq.10)n=1
        if(BOTTOM.eq.20)n=2
        if(BOTTOM.eq.30)n=3
        if(BOTTOM.eq.100)n=4

        valor_H0L0=H0/L0

C      For i = 1 To np
C          xp(i) = Perfil(i, 1)
C      yp(i) = Perfil(i, 2)
C      Next i

        WRITE(34,*)'ESTOU NO TIPO DE CURVA=',N
        write(34,*)' '

c      calculo de HB
        do j=1,15
        WRITE(34,*)'ESTOU AQUI VALOR_H0L0=',J,VALOR_H0L0
        if (valor_H0L0 .GE.0.07)THEN

```

```

valor_HBH0=HBH0(N,15)
write(34,*)'O valor de HB/L0 é maior do 0.07=',valor_HBH0
GOTO 333
ENDIF

if (valor_H0L0 .LE.0.002)THEN
valor_HBH0=HBH0(N,1)
write(34,*)'O valor de HB/L0 é menor do 0.002=',valor_HBH0
GOTO 333
ENDIF

IF (VALOR_H0L0 .lt. H0L0(N,J)) then
inicio=HBH0(n,j-1)
fim=HBH0(n,j)
valor_HBH0=inicio+(fim-inicio)*(VALOR_H0L0-H0L0(n,j-1))
*/(H0L0(n,j)-H0L0(n,j-1))
write(34,*)' '
write(34,*)'inicio, fim, valor_HBH0=',inicio, fim, valor_HBH0
goto 333
else

goto 666
ENDIF

666  CONTINUE

ENDDO

write(34,*)' '

C    ITERACAO PARA CALCULO DO R
c    primeira estimativa de R
333  R=H0

c    calculo de HB
HB=valor_hbh0*h0

c    inicio e fim da runup, yini e yfim
YINI=-VALOR_HBH0*H0+XNIVELMARE
3535 YFIM=R+XNIVELMARE

WRITE(34,*)'Os valores de valor_HBH0,HB,R=',valor_HBH0,HB,R

c    calculo da area
WRITE(34,*)' '
WRITE(34,*) 'Estou a entrar na subrotina area '
CALL AREA(XP,YP,NP,YINI,YFIM,FINAL_AREA)

c    calculo da cota beta

```

COTAGBETA=2*FINAL_AREA/((HB+R)**2)

- c calculo do declive_novo
DECLIVE_NOVO=1./COTAGBETA

```
write(34,*)' '  
WRITE(34,*)'Area, cotaGbeta e declive_novo',  
*FINAL_AREA,COTAGBETA, DECLIVE_NOVO  
WRITE(34,*)' '
```

- c calculo do R_novo

```
write(34,*)'Calculo do novo R para o tipo =',ntipo  
if(ntipo.eq.1)then  
R_NOVO= H0*(2.99-2.73*exp(-0.57*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))  
  
elseif(ntipo.eq.2)then  
R_novo=H0*(2.72-2.56*exp(-0.58*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))  
  
else  
R_novo= H0*(2.17-2.18*exp(-0.70*DECLIVE_NOVO/sqrt(H0/L0)))  
endif
```

NPO=NPO+1

```
ajuda1=R_NOVO-R  
ajuda=declive_NOVO-declive  
write(34,*)' '
```

```
WRITE(34,*)'R,R_NOVO, ajuda=',R,R_NOVO,ajuda1  
WRITE(34,*)'DECLIVE,DECLIVE_NOVO=',DECLIVE,DECLIVE_NOVO,aj
```

uda

- c Verificar se ja convergiu

```
IF(abs(R_NOVO-R).GT.0.001) THEN  
R=R_NOVO
```

```
write(34,*)' '  
write(34,*)' *****'  
write(34,*)'*****estou a efetuar nova interpolacao',npo  
write(34,*)'*****'
```

GOTO 3535

ELSE

- c valores finais de R2 e de betaf
R2=R_NOVO

```

BETAF=ATAN(DECLIVE_NOVO)*180/PI

ENDIF

WRITE(34,*)'ESTOU A SAIR e o R_final=',R

END

SUBROUTINE AREA(XP,YP,NP,YINI,YFIM,FINAL_AREA)

REAL xp(30), yp(30), x(32), y(32)

write(34,*)'YINI=',yini
write(34,*)'yfim=',yfim

ip = 0
DO i = 2,np
    If (ip.EQ.0 .And. yp(i).GT. yini) Then
        ip = 1
        y(ip) = yini
        x(ip) = xp(i - 1) + (xp(i) - xp(i - 1)) * (yini - yp(i - 1))
* / (yp(i) - yp(i - 1))
    End If
    If (ip > 0) Then
        ip = ip + 1
        If (yp(i) >= yfim) Then
            y(ip) = yfim
            x(ip) = xp(i - 1) + (xp(i) - xp(i - 1)) * (yfim - yp(i - 1))
*/(yp(i) - yp(i - 1))
            GOTO 555
        Else
            x(ip) = xp(i)
            y(ip) = yp(i)
        End If
    End If
ENDDO

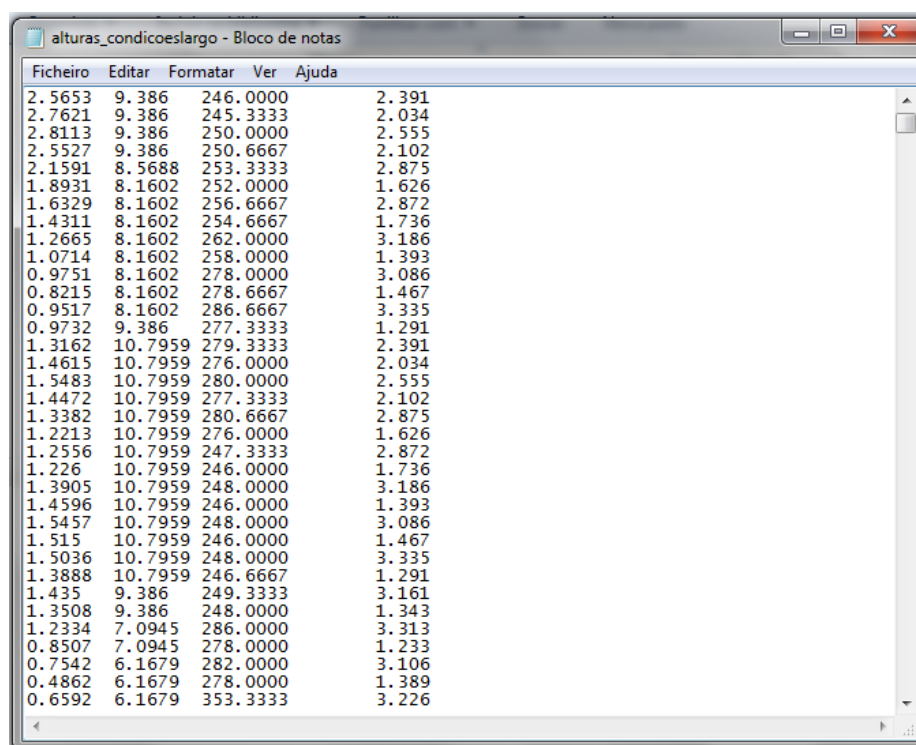
555  FINAL_Area = 0
write(34,*)'ip=',ip

do i=1,ip
write(34,*)'valores i,x,y=',i,x(i),y(i)
enddo

DO i = 1,ip - 1
    FINAL_Area = FINAL_Area + (X(i + 1) - X(i)) * ((Y(i) - Y(1)) +
*(Y(i + 1) - Y(1)))/2.
ENDDO
write(34,*)'final_area dentro da subrotina=',final_area
END

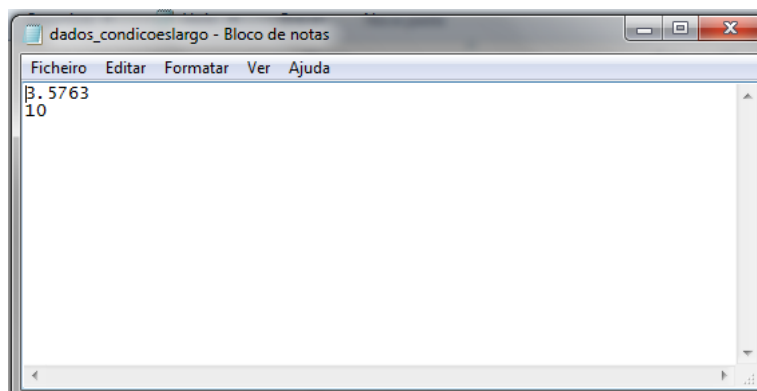
```


3) Exemplos dos ficheiros de *input* e *output* dos programas



Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
2.5653	9.386	246.0000	2.391	
2.7621	9.386	245.3333	2.034	
2.8113	9.386	250.0000	2.555	
2.5527	9.386	250.6667	2.102	
2.1591	8.5688	253.3333	2.875	
1.8931	8.1602	252.0000	1.626	
1.6329	8.1602	256.6667	2.872	
1.4311	8.1602	254.6667	1.736	
1.2665	8.1602	262.0000	3.186	
1.0714	8.1602	258.0000	1.393	
0.9751	8.1602	278.0000	3.086	
0.8215	8.1602	278.6667	1.467	
0.9517	8.1602	286.6667	3.335	
0.9732	9.386	277.3333	1.291	
1.3162	10.7959	279.3333	2.391	
1.4615	10.7959	276.0000	2.034	
1.5483	10.7959	280.0000	2.555	
1.4472	10.7959	277.3333	2.102	
1.3382	10.7959	280.6667	2.875	
1.2213	10.7959	276.0000	1.626	
1.2556	10.7959	247.3333	2.872	
1.226	10.7959	246.0000	1.736	
1.3905	10.7959	248.0000	3.186	
1.4596	10.7959	246.0000	1.393	
1.5457	10.7959	248.0000	3.086	
1.515	10.7959	246.0000	1.467	
1.5036	10.7959	248.0000	3.335	
1.3888	10.7959	246.6667	1.291	
1.435	9.386	249.3333	3.161	
1.3508	9.386	248.0000	1.343	
1.2334	7.0945	286.0000	3.313	
0.8507	7.0945	278.0000	1.233	
0.7542	6.1679	282.0000	3.106	
0.4862	6.1679	278.0000	1.389	
0.6592	6.1679	353.3333	3.226	

Figura 1 - Ficheiro de *input* do FORTRAN para cálculo do *runup* em praias e *runup*/galgamento em praias com estrutura: “alturas_condicoeslargo.dad”



Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
3.5763				
10				

Figura 2 - Ficheiro de *input* do FORTRAN para cálculo do *runup* em praias: “dados_condicoeslargo.dad”

Nmax_inundacao_2007_2012_P1 - Bloco de notas

Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda

HM0(i)	L0	TP(i)	smax(i)	Hunt	Holman1	Stock	Nielsen	Rugg
2.565	44.633	9.386	2.391	3.099	3.551	2.891	3.	
2.762	41.272	9.386	2.034	2.740	3.235	2.532	3.	
2.811	46.070	9.386	2.555	3.308	3.806	3.086	3.	
2.553	41.934	9.386	2.102	2.787	3.239	2.585	3.	
2.159	44.313	8.569	2.875	3.522	3.895	3.332	3.	
1.893	32.051	8.160	1.626	2.141	2.476	1.990	2.	
1.633	42.062	8.160	2.872	3.420	3.693	4.971	3.	
1.431	33.081	8.160	1.736	2.191	2.434	3.479	2.	
1.266	44.148	8.160	3.186	3.680	3.882	5.080	3.	
1.071	29.747	8.160	1.393	1.767	1.944	2.823	1.	
0.975	43.495	8.160	3.086	3.517	3.665	4.736	3.	
0.822	30.494	8.160	1.467	1.798	1.927	2.735	1.	
0.952	45.107	8.160	3.335	3.768	3.911	4.995	3.	
0.973	33.069	9.386	1.291	1.666	1.822	2.728	1.	
1.316	51.561	10.796	2.391	2.936	3.141	4.478	3.	
1.462	47.655	10.796	2.034	2.586	2.821	4.148	2.	
1.548	53.249	10.796	2.555	3.156	3.403	4.855	3.	
1.447	48.426	10.796	2.102	2.656	2.888	4.223	2.	
1.338	56.389	10.796	2.875	3.450	3.655	5.075	3.	
1.221	42.709	10.796	1.626	2.104	2.298	3.455	2.	
1.256	56.351	10.796	2.872	3.429	3.618	5.003	3.	
1.226	44.102	10.796	1.736	2.223	2.416	3.599	2.	
1.390	59.242	10.796	3.186	3.786	3.999	5.485	4.	
1.460	39.584	10.796	1.393	1.896	2.138	3.318	2.	
1.546	58.339	10.796	3.086	3.714	3.956	5.491	3.	
1.515	40.614	10.796	1.467	1.986	2.238	3.454	2.	
1.504	60.568	10.796	3.335	3.966	4.199	5.752	4.	
1.389	38.139	10.796	1.291	1.773	2.002	3.135	2.	
1.435	51.002	9.386	3.161	3.727	3.954	5.328	3.	
1.351	33.715	9.386	1.343	1.790	2.016	3.052	2.	
1.233	38.650	7.095	3.313	3.769	3.970	5.062	3.	
0.851	24.263	7.095	1.233	1.534	1.674	2.384	1.	
0.754	32.179	6.168	3.106	3.431	3.547	4.354	3.	
0.486	22.213	6.168	1.389	1.606	1.680	2.221	1.	
0.659	32.713	6.168	3.226	3.533	3.631	4.402	3.	
0.609	31.727	6.168	3.010	3.300	3.390	4.123	3.	
0.495	24.246	6.168	1.672	1.901	1.974	2.549	1.	

Figura 3 - Ficheiro de *output* do FORTRAN para cálculo do *runup* em praias: “Nmax_inundacao_total.dat”

15			
0	9.126		
403.854	0		
561.321	-7.315		
568.363	-8.396		
700	-111		

Figura 4 - Ficheiro de *input* do FORTRAN para cálculo do *runup*/galgamento em praias com estrutura: “Estrutura_Px.dad”

galgamento_R_Totais_P7 - Bloco de notas								
Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda				
i	HMO(i)	TP(i)	Dir (i)	L0	H0/L0	HB/H0	HB	
1	2.6231	9.3860	235.0000	124.7589	0.0210	2.5810	6.7703	
2	2.7335	9.3860	233.0000	124.7589	0.0219	2.5819	7.0577	
3	2.6647	9.3860	240.0000	124.7589	0.0214	2.5814	6.8785	
4	2.3634	9.3860	241.0000	124.7589	0.0189	2.5906	6.1225	
5	2.1188	8.1602	247.0000	94.3001	0.0225	2.5825	5.4717	
6	1.8446	8.1602	241.0000	94.3001	0.0196	2.5844	4.7672	
7	1.6373	8.1602	249.0000	94.3001	0.0174	2.6064	4.2674	
8	1.4452	8.1602	245.0000	94.3001	0.0153	2.6267	3.7962	
9	1.3377	8.1602	297.0000	94.3001	0.0142	2.6381	3.5290	
10	1.1446	8.1602	296.0000	94.3001	0.0121	2.6586	3.0431	
11	1.0618	8.1602	298.0000	94.3001	0.0113	2.6674	2.8322	
12	0.9330	8.1602	297.0000	94.3001	0.0099	2.6832	2.5034	
13	1.0618	8.1602	302.0000	94.3001	0.0113	2.6674	2.8322	
14	1.1817	9.3860	271.0000	124.7589	0.0095	2.6958	3.1857	
15	1.5601	10.7959	276.0000	165.0549	0.0095	2.6964	4.2067	
16	1.6757	10.7959	271.0000	165.0549	0.0102	2.6785	4.4883	
17	1.7793	10.7959	278.0000	165.0549	0.0108	2.6722	4.7546	
18	1.6606	10.7959	272.0000	165.0549	0.0101	2.6794	4.4494	
19	1.5728	10.7959	280.0000	165.0549	0.0095	2.6941	4.2373	
20	1.3849	10.7959	278.0000	165.0549	0.0084	2.7344	3.7868	
21	1.3691	10.7959	298.0000	165.0549	0.0083	2.7382	3.7489	
22	1.3050	12.4177	297.0000	218.3700	0.0060	2.8522	3.7221	
23	1.4282	10.7959	271.0000	165.0549	0.0087	2.7239	3.8903	
24	1.4923	10.7959	228.0000	165.0549	0.0090	2.7088	4.0423	
25	1.6070	10.7959	299.0000	165.0549	0.0097	2.6879	4.3195	
26	1.5395	10.7959	269.0000	165.0549	0.0093	2.7002	4.1569	
27	1.6317	10.7959	300.0000	165.0549	0.0099	2.6834	4.3785	
28	1.4594	10.7959	277.0000	165.0549	0.0088	2.7163	3.9642	
29	1.5628	9.3860	299.0000	124.7589	0.0125	2.6547	4.1488	
30	1.4002	9.3860	281.0000	124.7589	0.0112	2.6678	3.7354	
31	1.4828	7.0945	303.0000	71.2778	0.0208	2.5808	3.8268	
32	1.1041	7.0945	271.0000	71.2778	0.0155	2.6251	2.8984	
33	0.8501	6.1679	325.0000	53.8747	0.0158	2.6222	2.2291	
34	0.6288	6.1679	298.0000	53.8747	0.0117	2.6633	1.6747	
35	0.6809	6.1679	329.0000	53.8747	0.0126	2.6536	1.8068	
36	0.6255	6.1679	329.0000	53.8747	0.0116	2.6639	1.6663	

Figura 5 - Ficheiro de output do FORTRAN para cálculo do runup/galgamento em praias com estrutura:
“galgamento_R_Totais_Px.dat”

ANEXO IV | GRÁFICOS *RUNUP*/GALGAMENTO

1) Runup e galgamento nas praias da Costa da Caparica – método 1 ($R_{\text{máx}}$ 37%,100)

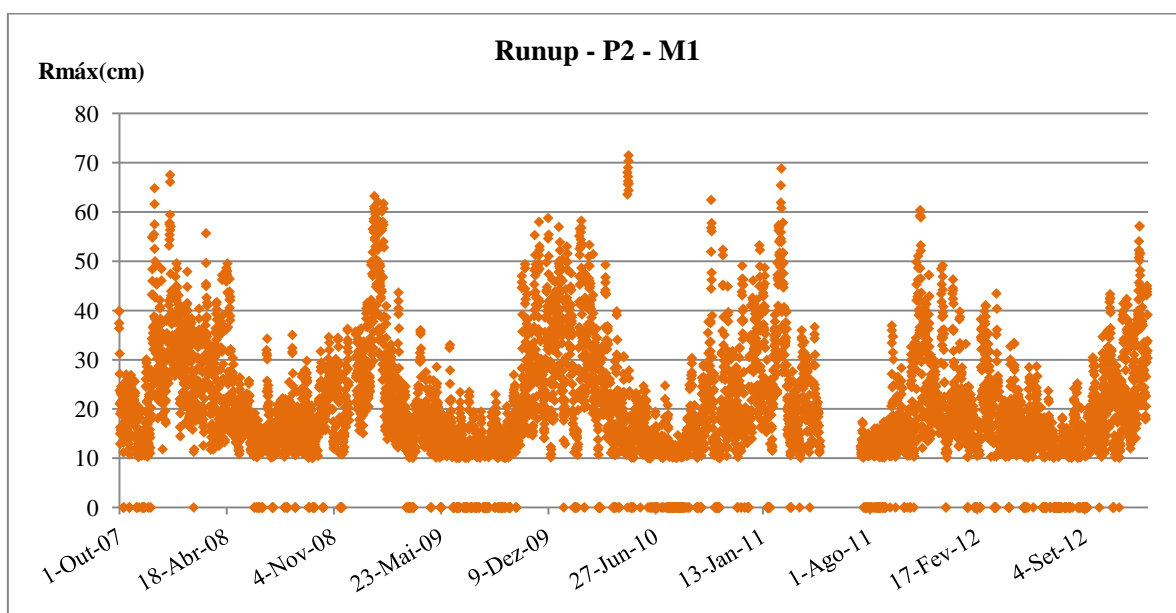


Figura 1 - Runup no ponto P2, de acordo com o método 1

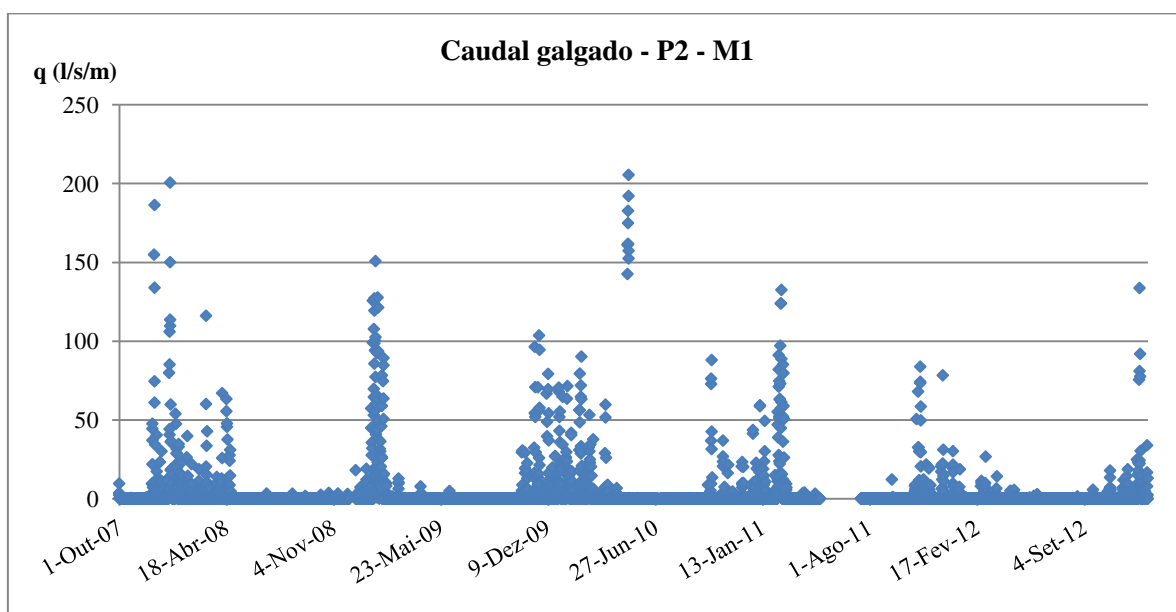


Figura 2 – Caudal médio galgado no ponto P2, de acordo com o método 1

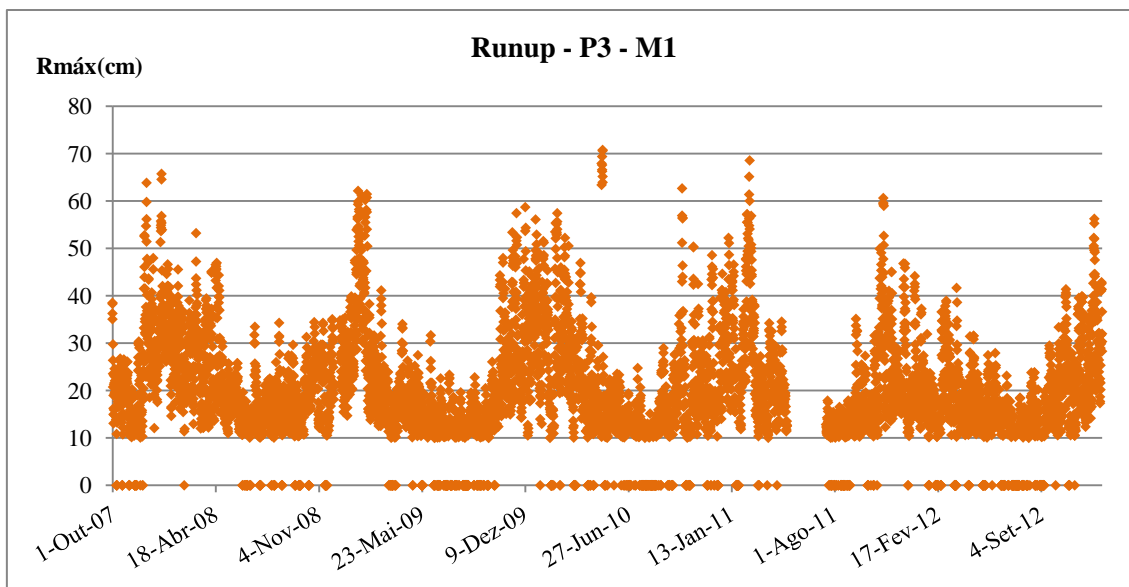


Figura 3 - Runup no ponto P3, de acordo com o método 1

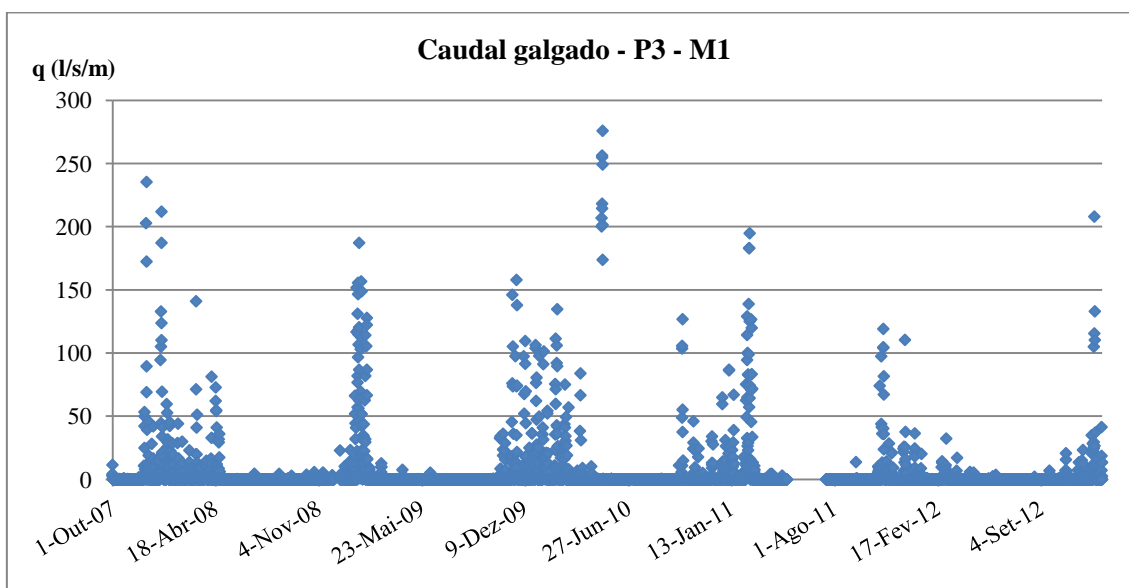


Figura 4 - Caudal médio galgado no ponto P3, de acordo com o método 1

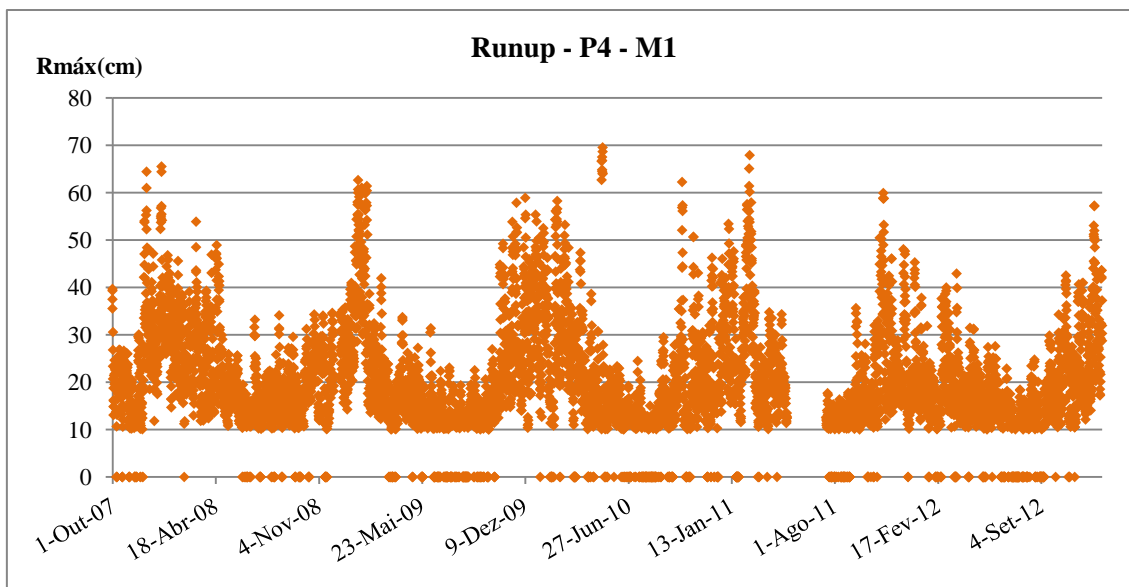


Figura 5 - Runup no ponto P4, de acordo com o método 1

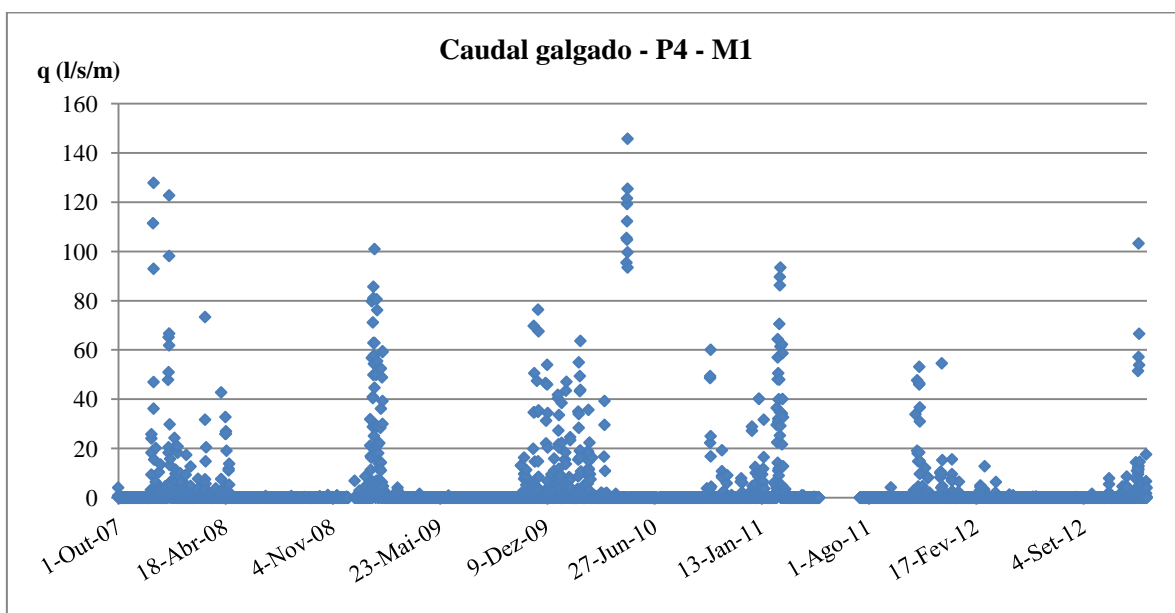


Figura 6 - Caudal médio galgado no ponto P4, de acordo com o método 1

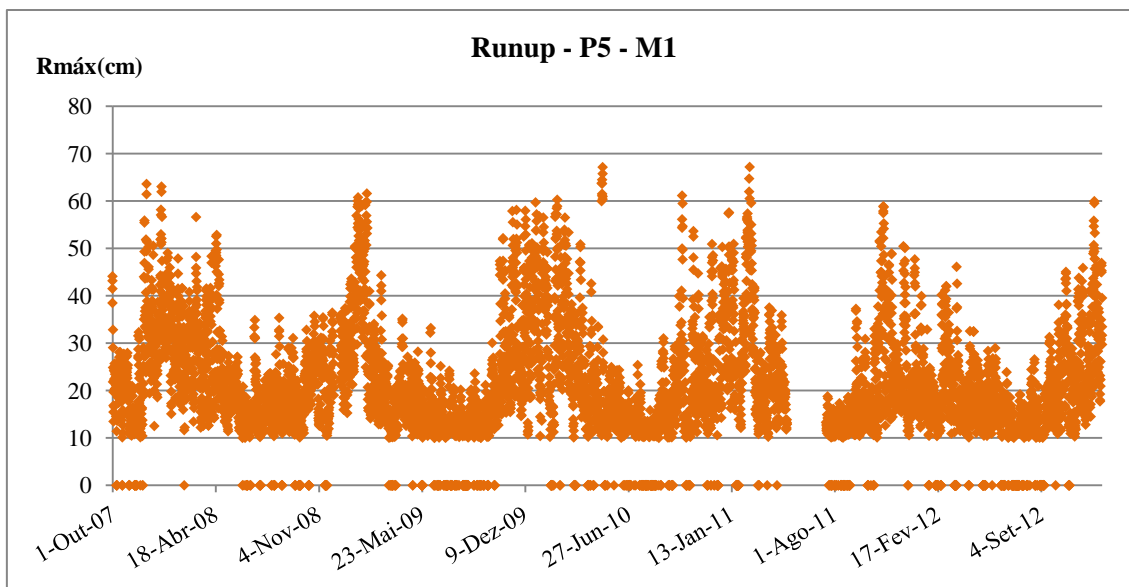


Figura 7 - Runup no ponto P5, de acordo com o método 1

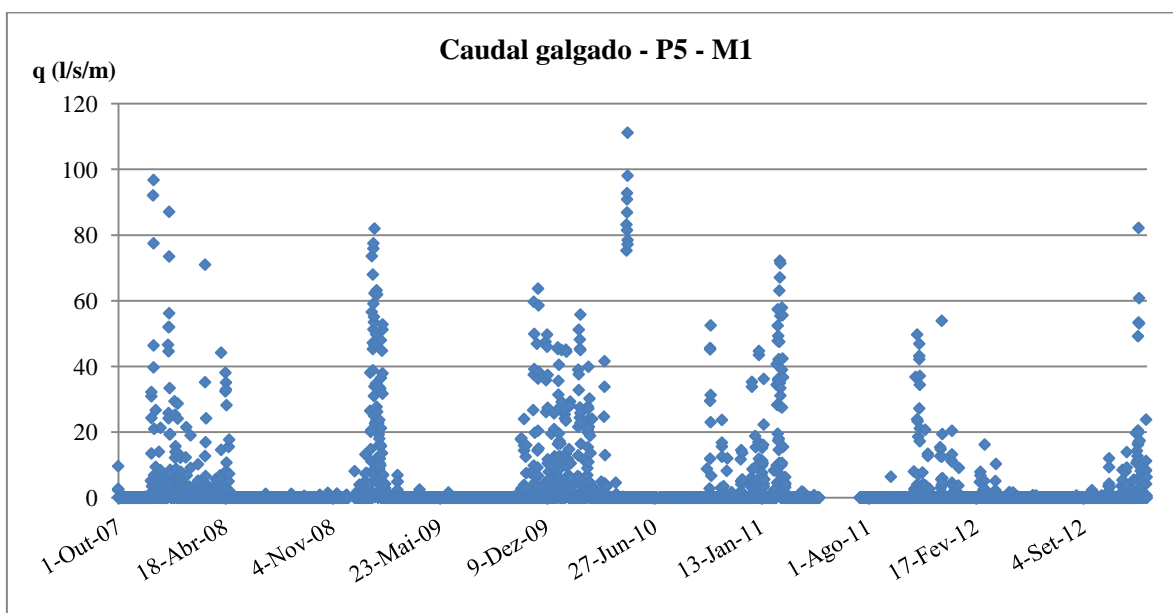


Figura 8 - Caudal médio galgado no ponto P5, de acordo com o método 1

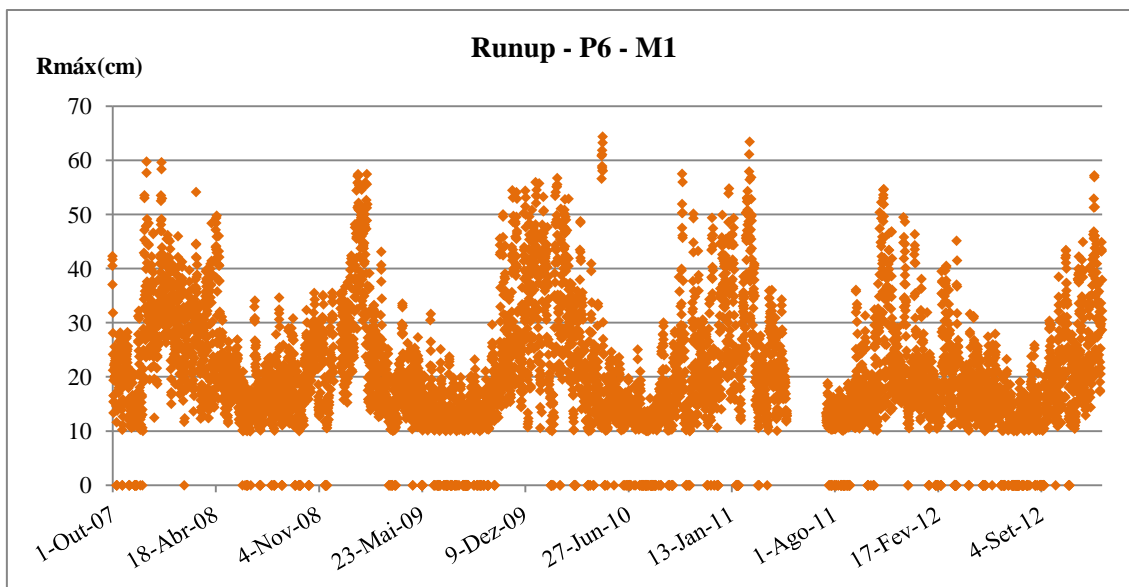


Figura 9 - Runup no ponto P6, de acordo com o método 1

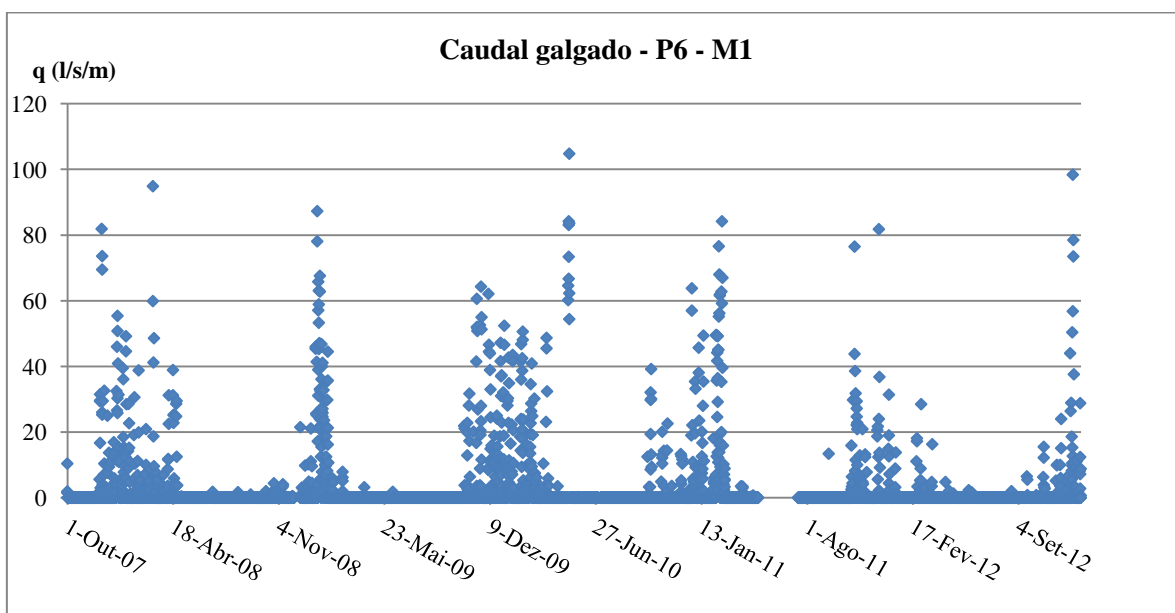


Figura 10 - Caudal médio galgado no ponto P6, de acordo com o método 1

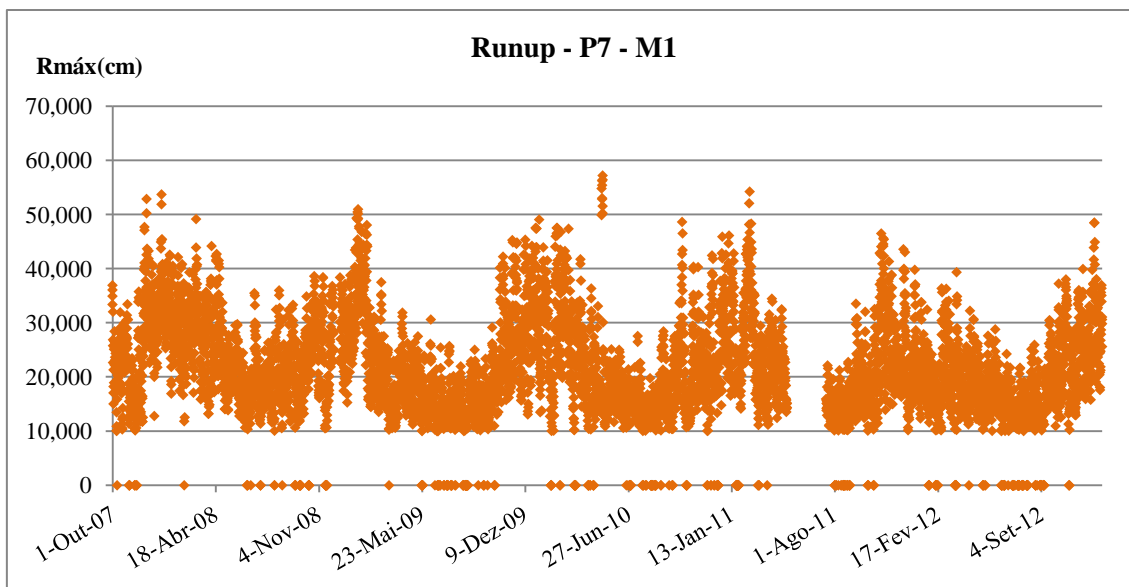


Figura 11 - Runup no ponto P7, de acordo com o método 1

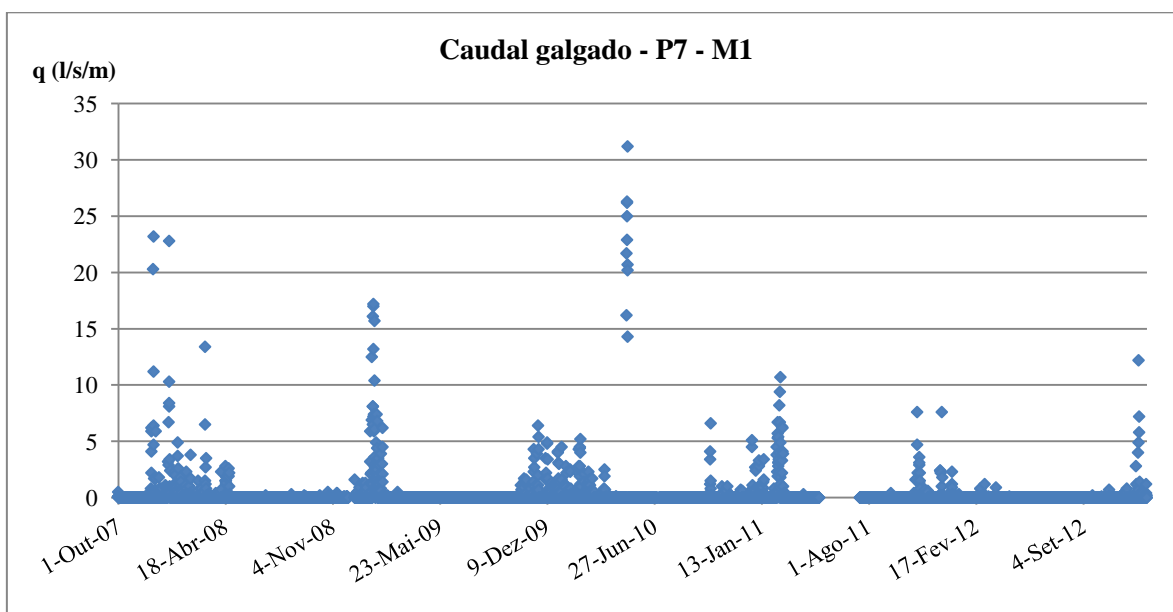


Figura 12 - Caudal médio galgado no ponto P7, de acordo com o método 1

2) Runup e galgamento nas praias da Costa da Caparica – método 2 ($R_{\text{máx}} 99\%, 100$)

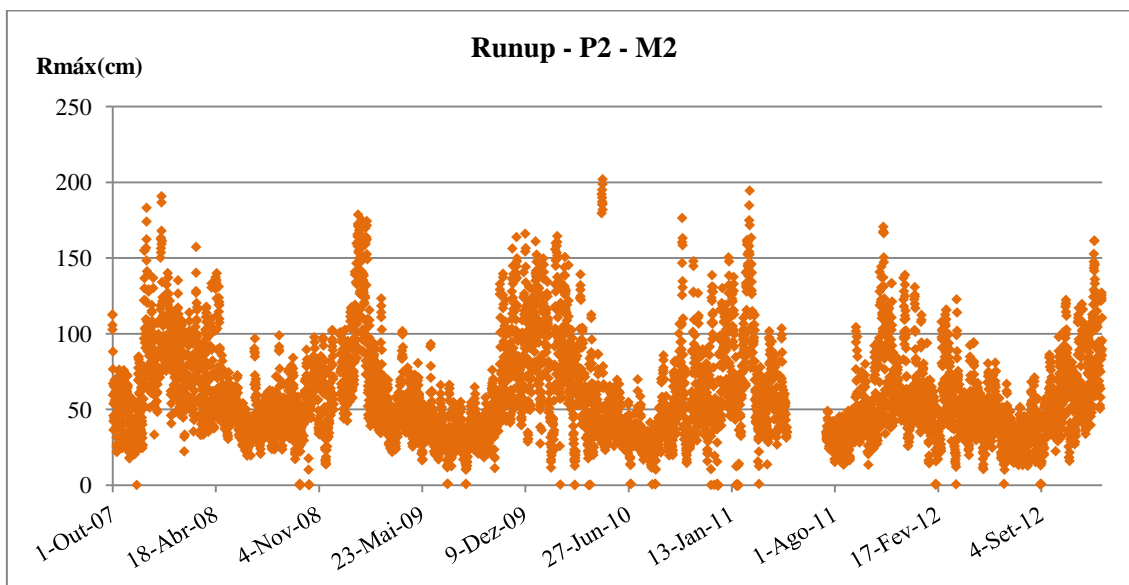


Figura 13 - Runup no ponto P2, de acordo com o método 2

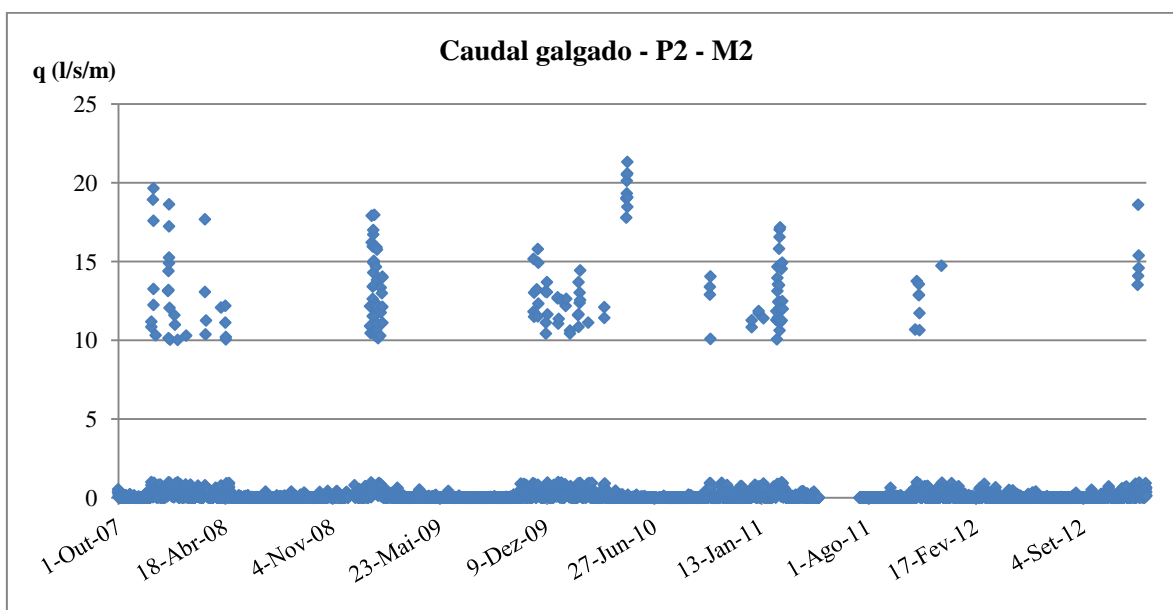


Figura 14 - Caudal médio galgado no ponto P2, de acordo com o método 2

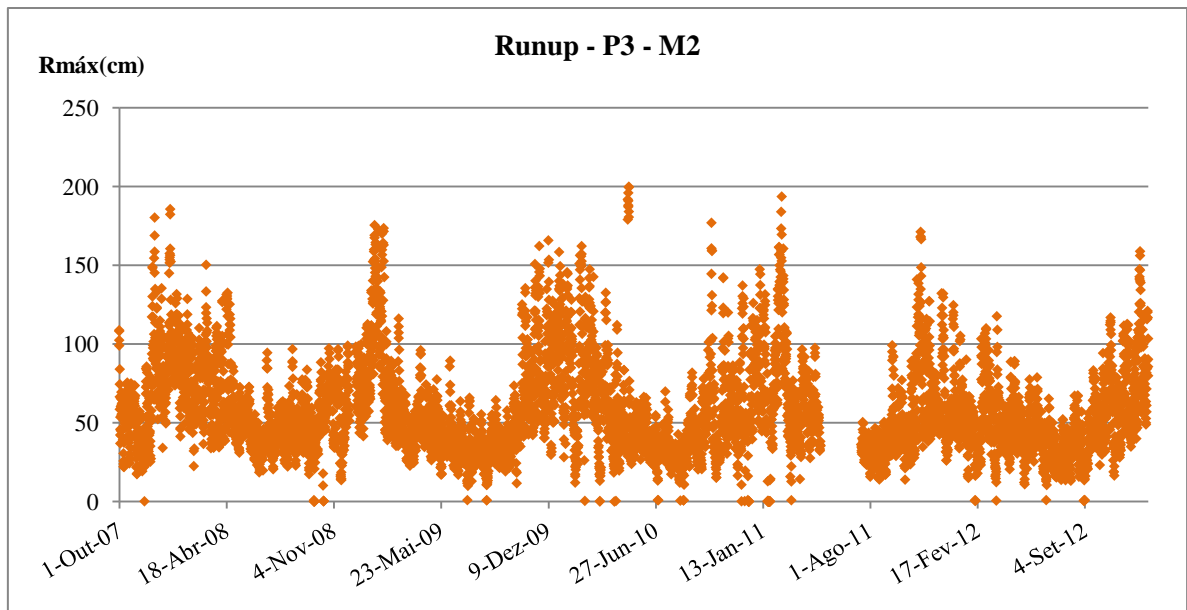


Figura 15 - Runup no ponto P3, de acordo com o método 2

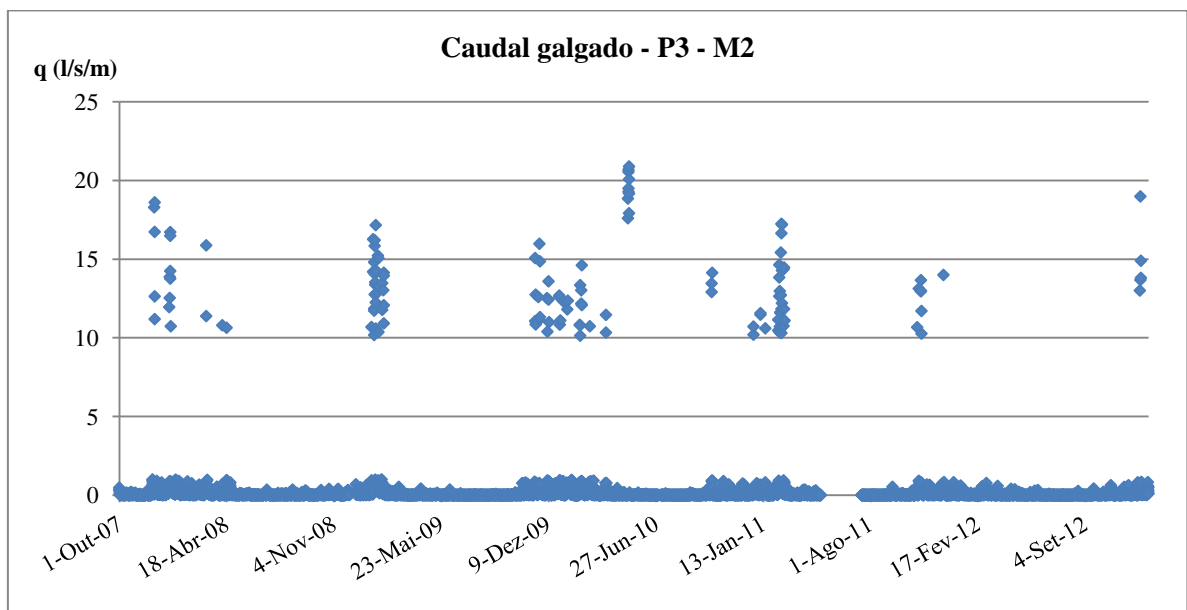


Figura 16 - Caudal médio galgado no ponto P3, de acordo com o método 2

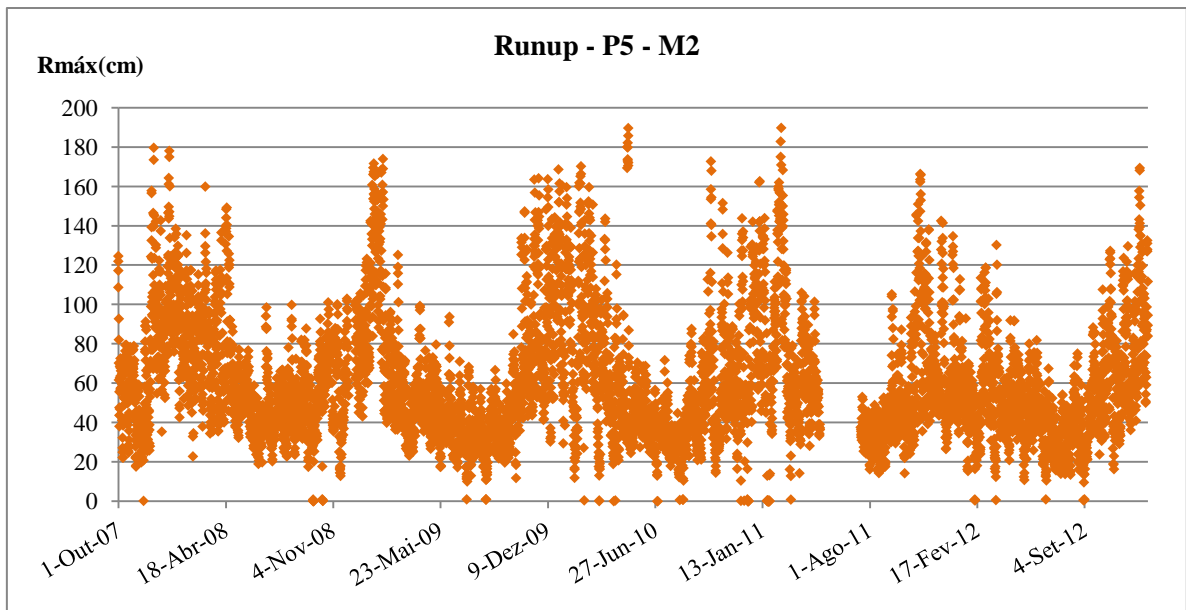


Figura 17 - Runup no ponto P5, de acordo com o método 2

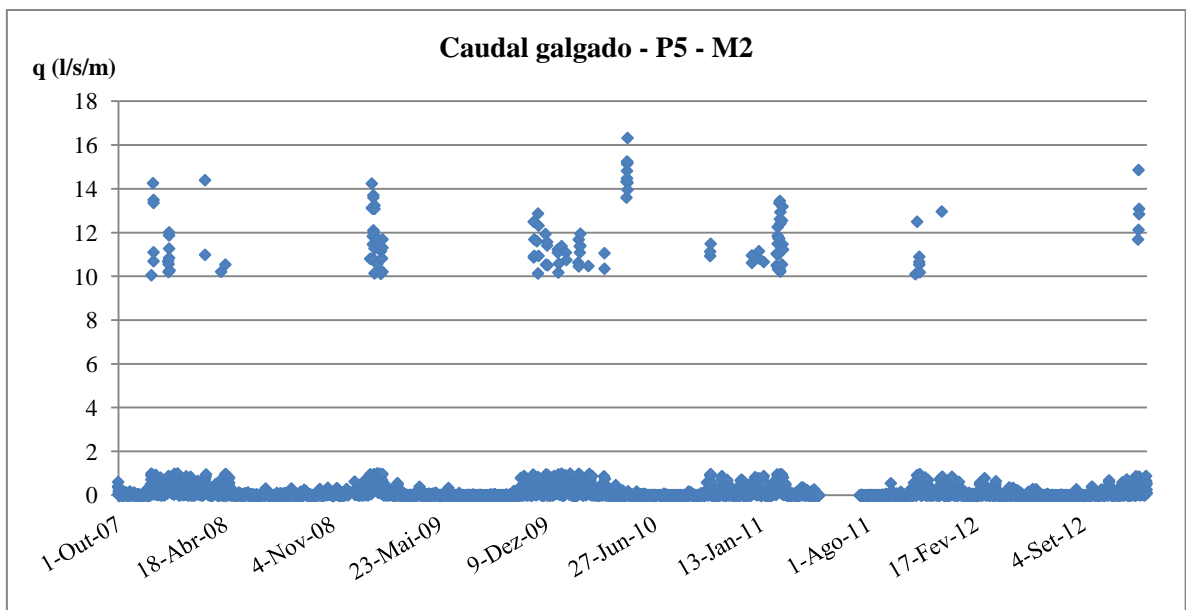


Figura 18 - Caudal médio galgado no ponto P5, de acordo com o método 2

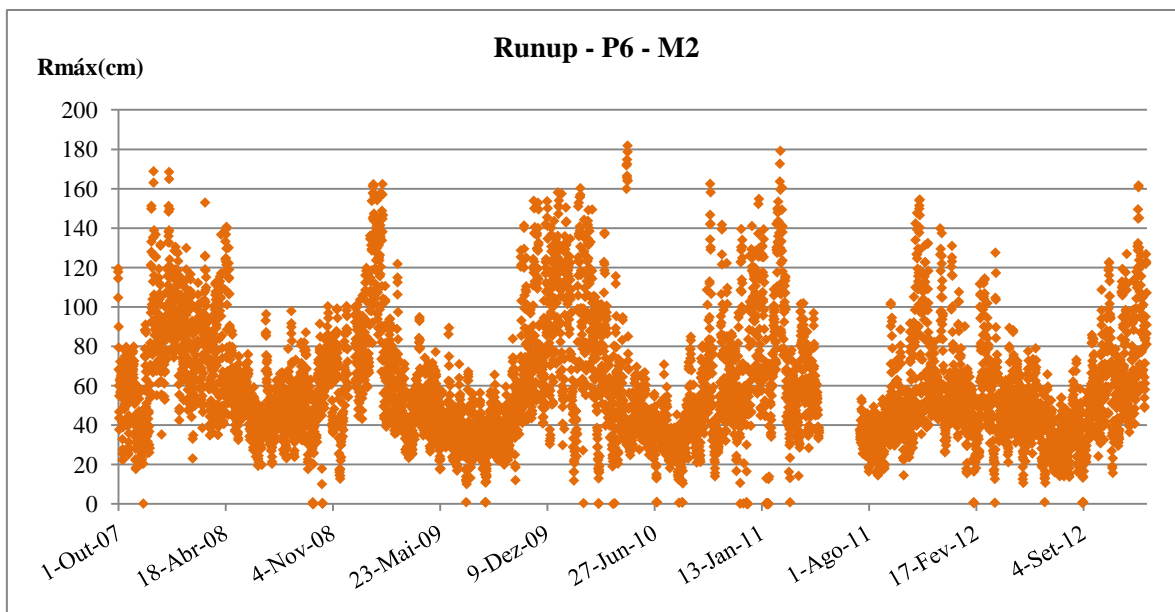


Figura 19 - Runup no ponto P6, de acordo com o método 2

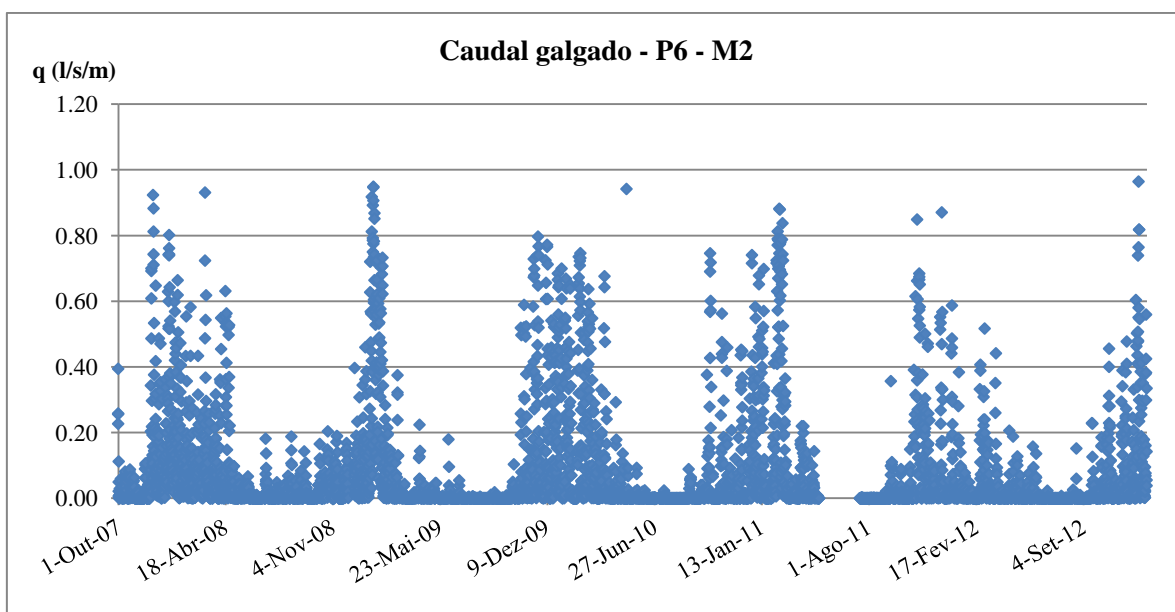


Figura 20 - Caudal médio galgado no ponto P6, de acordo com o método 2

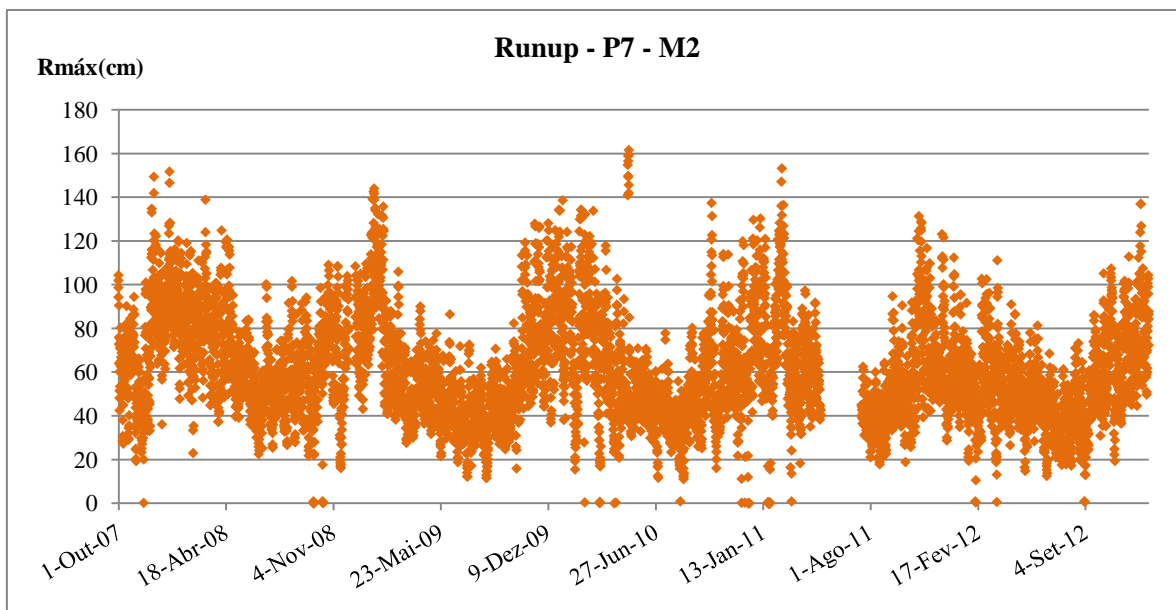


Figura 21 - Runup no ponto P7, de acordo com o método 2

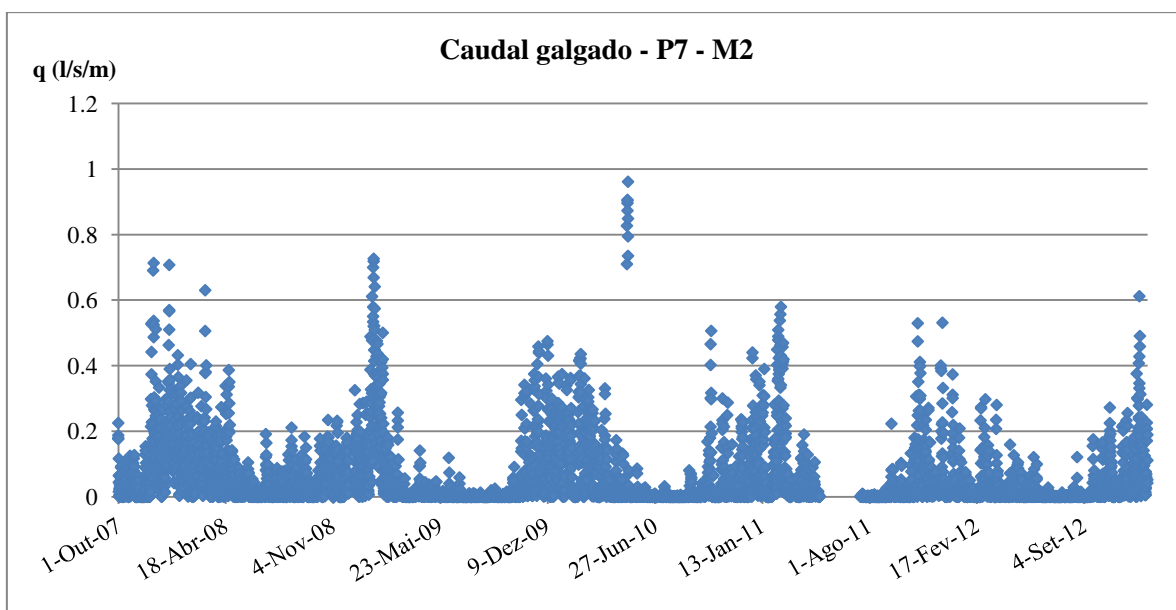


Figura 22 - Caudal médio galgado no ponto P7, de acordo com o método 2